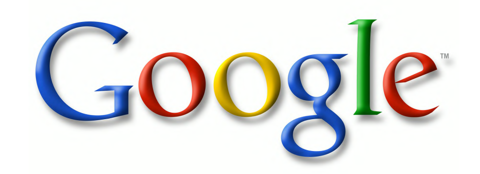


OSTWALD'S KLASSIKER
[D]ER EXAKTEN WISSENSCHAFTEN.
Nr. 136.



EXPERIMENTAL-UNTERSUCHUNGEN

ÜBER

# ELEKTRICITÄT

VON

MICHAEL FARADAY.

XVIII. UND XIX. REIHE.

---

WILHELM ENGELMANN IN LEIPZIG.

# OSTWALD'S KLASSIKER
DER
# EXAKTEN WISSENSCHAFTEN

8. Gebunden.

I



Nr. 1. H. … send.
(60 …
» 2. C. F … Ver-
häl … und
Ab … lage.
(60 …
» 7. F. … usg.
von …
» 10. F. … öme.
(18 …
» 11. Gal … üb.
zw … Tag
m. … A.
v. …
» 12. Ka … od.
Ve … des
gan … delt.
(17 … 2.40.
» 13. Cou … 786.)
Übe … 1.80.
» 20. Chr … usg.
von … htigt
von …
» 21. W. … ktro-
lyse … ald.
Zw …
» 23. — … 2 S.)
*M* 1

» 24. **Galileo Galilei,** Unterredungen u. mathem. Demonstrationen über 2 neue Wissenszweige etc. (1638.) 3. u. 4. Tag. mit 90 Fig. im Text. Aus dem Italien. u. Latein. übers. u. herausg. von A. von Oettingen. (141 S.) *M* 2.—.

» 25. **Galileo Galilei,** Anhang zum 3. u. 4. Tag, 5. u. 6 Tag, mit 23 Fig. im Text. Aus dem Italien. u. Latein. übers. u. herausg. von A. von Oettingen. (66 S.) *M* 1.20.

» 31. **Lambert's** Photometrie. (Photometria sive de mensura et gradibus luminis, colorum et umbrae). (1760.) Deutsch herausg. v. E. Anding. Erstes Heft: Theil I und II. Mit 35 Fig. im Text. (135 S.) *M* 2.—.

Nr. 32. **Lambert's** Photometrie. Zweites Heft: TheilIII, IV und V. Mit 32 Figuren im Text. (112 S.) ℳ 1.60.

» 33. —— —— Drittes Heft: Theil VI und VII. — Anmerkungen. Mit 8 Figuren im Text. (172 S.) ℳ 2.50.

» 36. **F. Neumann,** Über ein allgemein. Princip der mathemat. Theorie inducirter elektr. Ströme. (1847.) Herausg. von C. Neumann. Mit 10 Fig. im Text. (96 S.) ℳ 1.50.

» 37. **S. Carnot,** Betrachtungen üb. d. bewegende Kraft d. Feuers und die zur Entwickelung dieser Kraft geeigneten Maschinen. (1824.) Übersetzt und herausgegeben von W. Ostwald. Mit 5 Figuren im Text. (72 S.) ℳ 1.20.

» 40. **A. L. Lavoisier** u. **P. S. de Laplace,** Zwei Abhandlungen über die Wärme. (Aus den Jahren 1780 u. 1784.) Herausg. v. J. Rosenthal. Mit 13 Figuren im Text. (74 S.) ℳ 1.20.

» 44. Das Ausdehnungsgesetz der Gase. Abhandlungen von **Gay-Lussac, Dalton, Dulong** u. **Petit, Rudberg, Magnus, Regnault.** (1802–1842.) Herausg. von W. Ostwald. Mit 33 Textfiguren. (213 S.) ℳ 3.—.

» 52. **Aloisius Galvani,** Abhandlung üb. d. Kräfte der Electricität bei der Muskelbewegung. (1791.) Herausgegeben von A. J. v. Oettingen. Mit 21 Fig. auf 4 Taf. (76 S.) ℳ 1.40.

» 53. **C. F. Gauss,** Die Intensität der erdmagnetischen Kraft auf absolutes Maass zurückgeführt. In der Sitzung der Kgl. Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen am 15. December 1832 vorgelesen. Herausgegeben von E. Dorn. (62 S.) ℳ 1.—.

» 54. **J. H. Lambert,** Anmerkungen und Zusätze zur Entwerfung der Land- und Himmelscharten. (1772.) Herausgegeben von A. Wangerin. Mit 21 Textfiguren. (96 S.) ℳ 1.60.

» 55. **Lagrange** u. **Gauss,** Abhandlungen über Kartenprojection. (1779 u. 1822.) Herausgeg. v. A. Wangerin. Mit 2 Textfig. (102 S.) ℳ 1.60.

» 56. **Ch. Blagden,** Die Gesetze der Überkaltung und Gefrierpunktserniedrigung. 2 Abhandlungen. (1788.) Herausgegeben von A. J. v. Oettingen. (49 S.) ℳ —.80.

» 57. **Fahrenheit, Réaumur, Celsius,** Abhandlungen über Thermometrie. (1724, 1730—1733, 1742.) Herausgegeben von A. J. v. Oettingen. Mit 17 Fig. im Text. (140 S.) ℳ 2.40.

» 59. **Otto von Guericke's** neue »Magdeburgische« Versuche über den leeren Raum. (1672.) Aus dem Lateinischen übersetzt und mit Anmerkungen herausgegeben von Friedrich Dannemann. Mit 15 Textfiguren. (116 S.) ℳ 2.—.

» 61. **G. Green,** Ein Versuch, die mathematische Analysis auf die Theorieen der Elektricität und des Magnetismus anzuwenden. (Veröffentlicht 1828 in Nottingham.) Herausgegeben von A. v. Oettingen und A. Wangerin. (140 S.) ℳ 1.80.

» 63. **Hans Christian Oersted** und **Thomas Johann Seebeck,** Zur Entdeckung des Elektromagnetismus. (1820—1821.) Herausgegeben von A. J. v. Oettingen. Mit 30 Textfiguren. (83 S.) ℳ 1.40.

» 69. **James Clerk Maxwell** Über Faraday's Kraftlinien. (1855 u. 1856.) Herausgegeben von L. Boltzmann. (130 S.) ℳ 2.—.

» 70. **Th. J. Seebeck,** Magnetische Polarisation der Metalle und Erze durch Temperatur-Differenz. (1822—1823.) Herausgegeben von A. J. von Oettingen. Mit 33 Textfiguren. (120 S.) ℳ 2.—.

» 76. **F. E. Neumann,** Theorie der doppelten Strahlenbrechung, abgeleitet aus den Gleichungen der Mechanik. (1832.) Herausgegeben von A. Wangerin. (52 S.) ℳ —.80.

# Experimental-Untersuchungen

über

# Elektricität

von

**Michael Faraday**

(Aus den Philosoph. Transact. f. 1843 u. 1846.)

---

Herausgegeben

von

**A. J. von Oettingen**

XVIII. u. XIX. Reihe

Mit 11 Figuren im Text

---

Leipzig
Verlag von Wilhelm Engelmann
1903

# 8. Experimental-Untersuchungen über Elektricität

von

## Michael Faraday.

---

### Achtzehnte Reihe.[1])

(Philosoph. Transact. f. 1843. — Pogg. Ann. Band LX.)

XXV. Ueber die Elektricitäts-Erregung durch Reibung von Wasser und Dampf an anderen Körpern.

2075. Vor zwei Jahren wurde von Hrn. *Armstrong* und Anderen ein Versuch beschrieben*), in welchem das Ausströmen eines Dampfs von hohem Druck in die Luft eine Fülle von Elektricität erzeugte. Die Quelle der Elektricität ward nicht ermittelt, sondern vorausgesetzt, sie liege in der Verdampfung oder Aggregatveränderung des Wassers, und stehe in directer Beziehung zur atmosphärischen Elektricität. Seit dem Mai des letzten Jahres habe ich zu verschiedenen Zeiten über den Gegegenstand gearbeitet, und wiewohl ich erfahre, dass Hr. *Armstrong* in neueren Mittheilungen einige auch von mir erhaltene Thatsachen bereits veröffentlicht hat, so wird doch die K. Gesellschaft einen gedrängten Abriss meiner Ergebnisse und Schlüsse wohl nicht der Beachtung für unwerth halten.

2076. Der von mir angewandte Apparat war nicht darauf berechnet, Dampf in Menge oder von hohem Drucke zu liefern, reichte aber hin zu meinem Zweck, welcher in der Untersuchung der Wirkung und ihrer Ursache bestand, und nicht in einer Verstärkung der Elektricitäts-Erregung. Hr. *Armstrong*

---

*) Phil. Mag. 1840, Vol. XVII p. 370, 452. (Pogg. Annalen, Bd. LII S. 328 u. ff.)

1*

hat das Letztere in einer neueren Arbeit wohl ausgeführt*). Der von mir angewandte Dampfkessel, der *London Institution* gehörig, hält ungefähr zehn Gallonen Wasser und gestattet fünf Gallonen zu verdampfen. An ihm befestigte ich eine 4,5 Fuss lange Röhre, an deren Ende sich ein grosser Hahn nebst einer Metallkugel befand. Letztere, die 32 Kubikzoll fasste, will ich Dampfkugel nennen; an ihr Mundstück konnten verschieden geformte Apparate angesetzt werden, die als Ausgänge für den ausströmenden Dampf dienten**). So konnte man mit der Dampfkugel einen Hahn verbinden, der bei den Versuchen als Ausgang des Dampfes (*experimental steam passage*) diente, oder konnte ein hölzernes Rohr einschrauben, oder konnte eine kleine Metall- oder Glasröhre in einen Kork stecken und diesen einschrauben; in diesen Fällen war die Bahn des Dampfes in der Kugel und der zum Kessel führenden Röhre so weit, dass man sie als einen Theil des Kessels ansehen konnte, und diese Endkanäle als die Hindernisse, welche allein, das Ausströmen des Dampfes hemmend, einen bedeutenden Grad von Reibung ausübten.

2077. Ein anderes Mundstück bestand in einer Metallröhre, endigend in einem Metalltrichter und einem Kegel, der sich mittelst einer Schraube mehr oder weniger in den Trichter schieben liess, so dass der ausströmende Dampf auf den Kegel stossen musste (Fig. 2). Der Kegel konnte entweder mit dem Trichter oder dem Kessel elektrisch verbunden oder isolirt werden.

2078. Ein anderes Endstück bestand aus einer Röhre mit einem Hahn und einem oben darauf gesetzten Fütterer (*feeder*). mittelst dessen eine Flüssigkeit in den Dampfstrom gebracht und mit demselben fortgeführt werden konnte (Fig. 3).

2079. Noch ein anderes Endstück bestand in einer kleinen cylindrischen Kammer (Fig. 4), in welche sich verschiedene Flüssigkeiten bringen liessen, so dass, wenn die Hähne geöffnet waren, der aus der Dampfkugel (2076) strömende Dampf in diese Kammer treten, alles daselbst befindliche fortnehmen und in den Endkanal führen, oder gegen den Kegel (2077) treiben musste, je nachdem der Apparat zusammengefügt worden war. Diese kleine Kammer werde ich immer *C* nennen.

---

*) Phil. Mag. 1843, Vol XXII p. 1.

**) Diese Kugel und die übrigen Theile des Apparats sind in beistehenden Figuren (Fig. 1 bis 6) im Viertel der natürlichen Grösse abgebildet.

2080. Der Druck, mit dem ich arbeitete, ging von acht bis dreizehn Zoll Quecksilber, und ward nie höher als dreizehn Zoll oder etwa zwei Fünftel einer Atmosphäre.

2081. Der Kessel war isoliert auf drei kleinen Klötzen Lack, und der Schornstein verbunden durch eine trichterförmige

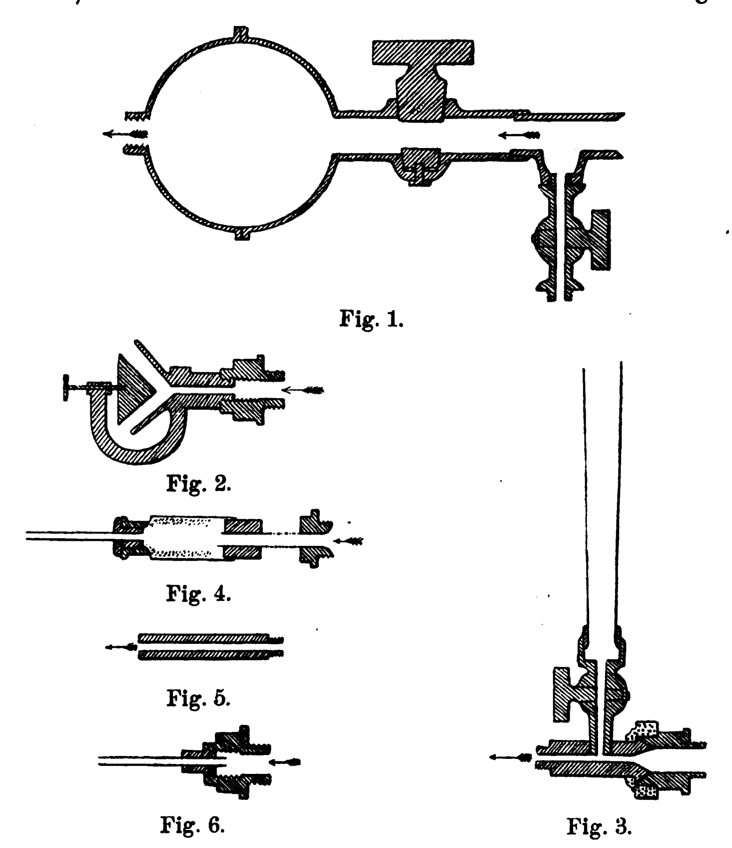


Fig. 1. Fig. 2. Fig. 4. Fig. 5. Fig. 6. Fig. 3.

Röhre, die nach Belieben fortzunehmen war. Es wurde mit Coke und Holzkohle geheizt, und die Isolation war so gut, dass wenn der Kessel mit einem Goldblatt-Elektrometer verbunden und dann geladen wurde, die Divergenz der Blätter sich nicht änderte, weder durch die Anwesenheit eines starken Feuers, noch durch das reichliche Entweichen der Verbrennungsproducte.

2082. Bei der Elektricitätserregung durch ausströmenden Dampf lassen sich zwei Dinge untersuchen, entweder der isolierte Kessel, oder der entweichende Dampf; beide sind immer im entgegengesetzten Zustande. Ich befestigte an dem Kessel sowohl ein Goldblatt- als ein Entladungs-Elektrometer; das erstere zeigte jede Ladung kurz vor einem Funken an, und das zweite durch die Anzahl von Funken in einer gegebenen Zeit, die zur Messung der entwickelten Elektricität verwandt worden. Der Zustand des Dampfes lässt sich beobachten, entweder indem man ihn durch eine isolierte weite Röhre treibt, worin einige Scheidewände von Drahtnetz, welche dem Dampf als Entlader dienen, oder indem man einen Puff (*a puff*) von ihm neben einem Elektrometer vorbeigehen lässt, wo er verteilend (*by induction*) wirkt, oder indem man Drähte und Platten aus leitenden Substanzen in seine Bahn bringt und ihn so entladet. Den Zustand des Kessels oder der Substanz, an welcher der Dampf gebildet wird, zu untersuchen, ist, wie schon Hr. *Armstrong* beobachtet hat, weit zweckmässiger, als sich wegen der Elektricität an den Dampf zu wenden, und daher werde ich in diesem Aufsatz, wenn nicht das Gegentheil gesagt wird, immer den Zustand des ersteren angeben.

2083. Zur Ursache der Elektricitäts-Erregung übergehend, muss ich zuvörderst bemerken, dass sie, wie ich mich überzeugt habe, weder in der Verdampfung noch in der Verdichtung (zur Tropfbarkeit *P.*) liegt, und auch weder durch die eine noch die andere abgeändert wird. Wenn, bei voller Spannkraft des Dampfes, die Sicherheitsklappe plötzlich gehoben und fortgenommen wurde, fand keine Elektricität in dem Kessel statt, obwohl nun die Verdampfung sehr stark war. Wenn ferner der Kessel, vor der Oeffnung der Klappe, durch geriebenes (*excited*) Harz geladen ward, änderte das Oeffnen der Klappe und die nun erfolgende Verdampfung diese Ladung nicht. Als es mir endlich gelungen war, Dampf-Ausgänge zu construiren, die entweder den positiven, oder negativen, oder den neutralen Zustand gaben (2102. 2110. 2117), konnte ich diese an die Bahn des Dampfs befestigen, und so den Kessel mit einem und demselben Dampf nach Belieben, entweder positiv, negativ oder neutral machen, während die Verdampfung in der ganzen Zeit unverändert fortdauerte. Somit ist denn

die Elektricitäts-Erregung offenbar unabhängig von der Verdampfung oder der Aenderung des Aggregatzustandes.

2084. Der Austritt von Dampf allein ist nicht genügend Elektricität zu entwickeln*). Zur Erläuterung dieses Satzes kann ich sagen, dass der Kegel-Apparat (2077) ein vortrefflicher Erreger ist, so auch eine Buchsbaum-Röhre (2102. Fig. 5), getränkt mit Wasser und eingeschraubt in die Dampfkugel. Wenn mit einer dieser Vorrichtungen die Dampfkugel leer von Wasser ist, so dass sie das aus der Verdichtung des Dampfes entstehende auffängt und zurückhält, so erregt, nach den ersten Momenten (2089) und sobald der Apparat heiss ist, der austretende Dampf keine Elektricität. Ist aber die Dampfkugel so weit gefüllt, dass der Rest des verdichteten Wassers durch den Dampf fortgetrieben wird, so erscheint eine Fülle von Elektricität. So wie dann die Kugel wieder geleert wird vom Wasser, hört die Elektricität auf; füllt man sie aber bis zur geeigneten Höhe, so erscheint die Elektricität abermals in voller Kraft. So zeigte sich keine Elektricität, wenn der Fütter-Apparat (2078) gebraucht ward, und kein Wasser in dem Kanale war; leitete man aber Wasser in diesen aus dem Fütterer, so entwickelte sich sogleich Elektricität.

2085. Die Elektricität entspringt gänzlich aus der Reibung der vom Dampfe fortgeführten Wassertheilchen an der umgebenden festen Masse des Kanals (*passage*) oder des ihm eigends entgegen gehaltenen Körpers, wie des Kegels (2077), ganz wie bei der gewöhnlichen Erregung durch Reibung. Es wird späterhin gezeigt werden (2130. 2132), dass eine sehr kleine Menge Wasser, zweckmässig an einen verstopfenden oder vorgehaltenen Körper gerieben, eine sehr merkliche Menge Elektricität erzeugt.

2086. Von den mannigfachen Umständen, die auf diese Elektricitäts-Erregung einwirken, giebt es einen oder zwei, deren ich hier erwähnen muss. Erhöhung des Druckes (wie es durch Hrn. *Armstrong*'s Versuche wohl erwiesen ist) vergrössert den Effect bedeutend, einfach dadurch, dass die beiden erregenden Substanzen stärker an einander gerieben werden. Erhöhung des Druckes ändert zuweilen den positiven Zustand des Kanals in den negativen um, nicht weil sie an sich das Vermögen hat,

*) Auch Hr. *Armstrong* hat gezeigt, dass Wasser wesentlich ist zu einer starken Elektricitäts-Erregung. Phil. Mag. 1843, Vol. XXII, p. 2.

die Beschaffenheit des Kanals zu ändern, sondern, wie man (2108) sehen wird, durch Fortführung dessen, wodurch die positive Elektricität erregt ward; keine Verstärkung des Druckes vermag, so weit ich finden kann, die Negativität eines gegebenen Kanals in Positivität umzuwandeln. Bei anderen, weiterhin (2090. 2105) beschriebenen Erscheinungen, ist die Verstärkung des Druckes ohne Zweifel von Einfluss gewesen, und eine Wirkung, welche abgenommen hat und selbst verschwunden ist (wie bei Zusatz von Substanzen zum Wasser in der Dampfkugel oder zum austretenden Strom von Wasser und Dampf), kann unzweifelhaft durch Verstärkung des Druckes wieder erhöht oder hergestellt werden.

2087. Die Gestalt (*shape and form*) des erregenden Kanals (*exciting passage*) hat grossen Einfluss, indem sie die Berührung und nachherige Trennung der Wassertheilchen und der festen Substanz, an welche sie sich reiben, befördert.

2088. Wenn der mit Wasser gemischte Dampf durch eine Röhre oder einen Hahn (2076) geht, so kann er beim Austreten entweder einen zischenden sanften, oder einen schnarrenden rauhen Ton hervorbringen*), und zwar mit der Kegelvorrichtung oder einer Röhre von gewisser Länge plötzlich mit einander abwechselnd. Bei dem sanften Ton wird wenig oder keine Elektricität erregt, bei dem schnarrenden dagegen viel. Der schnarrende Ton begleitet jene unregelmässige rohe Vibration, welche das Wasser heftiger und wirksamer gegen die Substanz des Kanals schleudert, und somit eine bessere Elektricitäts-Erregung hervorbringt. Ich wandelte zu dem Zweck das Ende des Kanals in eine Dampfpfeife um, indess, ohne Nutzen.

2089. Wenn sich kein Wasser in der Dampfkugel befindet, so ist der erste Effect bei Oeffnung des Dampfhahns sehr auffallend; es findet eine gute Elektricitäts-Erregung statt, allein sie hört bald auf. Diess rührt von dem in den kalten Kanälen verdichteten Wasser her, welches durch Reibung an ihnen Elektricität erregt. Besteht der Kanal z. B. aus einem Hahn, so wird, so lange er kalt ist, mit dem, was man nur für Dampf hält, Elektricität erregt; allein sobald er heiss wird, verschwindet diese Erregung. Wenn man dann, während der

---

*) Hr. *Armstrong* und Hr. *Schafhäutl* haben beide den Zusammenhang gewisser Töne oder Geräusche mit der Elektricitäts-Erregung beobachtet.

Dampf ausströmt, den Hahn durch einen isolirten Wasserstrahl abkühlt, nimmt er sein Vermögen wieder an. Wird er andererseits mit einer Weingeistlampe erhitzt, ehe der Dampf austritt, so findet kein erster Effect statt. Auf diese Weise habe ich einen erregenden Kanal gemacht, indem ich einen Theil einer Ausgangsröhre mit einer kleinen Cisterne umgab und darin Wasser oder Weingeist that.

---

2090. Wir finden also, dass Wassertheilchen, gerieben durch einen Dampfstrom an anderen Körpern Elektricität erregen. Zu dem Ende muss jedoch nicht bloss Wasser, sondern reines Wasser angewandt werden. Bei Anwendung der Fütter-Vorrichtung (2078), welche das reibende Wasser in das Innere des Dampfkanals führte, fand ich, wie zuvor gesagt, dass ich mit Dampf allein keine Elektricität bekam (2084). Bei Hineinleitung von destillirtem Wasser wurde reichlich Elektricität entwickelt; als indess ein kleiner Krystall von schwefelsaurem Natron oder Kochsalz in das Wasser gethan wurde, hörte diese Entwicklung ganz auf. Abermalige Anwendung von destillirtem Wasser rief die Elektricität wieder hervor. Als ich das gewöhnliche Wasser, mit dem London versorgt wird, anwandte, konnte ich dies nicht bewerkstelligen.

2091. Wenn ich ferner, bei Anwendung der Dampfkugel (2076) und einer Buchsbaum-Röhre (2102), die, sobald destillirtes Wasser mit dem Dampf aus dem Kessel durch sie geleitet ward, gut erregte, einen kleinen Krystall von schwefelsaurem Natron oder Kochsalz, oder Salpeter, oder den kleinsten Tropfen Schwefelsäure in die Dampfkugel mit dem Wasser brachte, war der Apparat höchst unwirksam, mit ihm keine Elektricität zu erregen. Nahm ich aber solches Wasser fort und ersetzte es durch destillirtes Wasser, so war die Erregung wieder vortrefflich. Sie hörte auf, so wie eine sehr geringe Menge jener Substanzen hinzugefügt ward, und erschien abermals, so wie wieder reines Wasser hineingebracht wurde.

2092. Gemeines Wasser in der Dampfkugel war unvermögend zur Elektricitäts-Erregung. Ein wenig Kali zu destillirtem Wässer hinzugefügt, nahm diesem alle Kraft. Dasselbe that der Zusatz irgend einer jener salzigen oder anderen Substanzen, die das Wasser leitend machen.

2093. Dies rührt offenbar davon her, dass das Wasser ein so guter Leiter wird, dass bei seiner Reibung an Metall oder

sonst einem Körper die erregte Elektricität sich unmittelbar wieder entladen kann. Es ist gerade so, wie wenn wir Lack oder Schwefel durch Flanell zu erregen suchen, der, statt trocken zu sein, feucht ist. Es zeigt sehr klar, dass die Elektricitäts-Erregung, wenn sie stattfindet, vom Wasser und nicht vom durchströmenden Dampf herrührt.

2094. Da Ammoniak die Leitungsfähigkeit des Wassers nur in geringem Grade erhöht (554), so schloss ich, es würde hier das Erregungsvermögen nicht fortnehmen. Demgemäss brachte ich etwas davon in das reine Wasser der Kugel, und wirklich ward Elektricität entwickelt, obgleich der mit Wasser gemischte Dampfstrom Kurkumäpapier röthete. Allein der Zusatz einer sehr geringen Portion verdünnter Schwefelsäure nahm, durch Bildung von schwefelsaurem Ammoniak, alle Erregbarkeit fort.

2095. Wenn in einem dieser Fälle die Dampfkugel Wasser enthielt, welches keine Elektricität erregen konnte, so war es niedlich zu beobachten, wie beim Oeffnen des Hahns, welcher vor der Dampfkugel in die Dampfröhre eingesetzt war (der bezweckte, das in der Röhre vor ihrem Eintritt in die Dampfkugel verdichtete Wasser fortzunehmen), augenblicklich Elektricität entwickelt ward; einige Zoll weiterhin war der Dampf ganz wirkungslos, weil die Beschaffenheit des Wassers, über welches er hinweggestrichen, und welches er mitgenommen, ein wenig geändert war.

2096. Als eine hölzerne oder metallene Röhre (2076) als erregender Kanal gebraucht ward, zeigte die Anbringung von Salzlösungen auf der Aussenseite oder das Ende der Röhre in keiner Weise einen Einfluss auf die Erregung. Gebrauchte man aber einen hölzernen Kegel (2077) und befeuchtete denselben mit den Lösungen, so zeigte sich beim ersten Herauslassen des Dampfes keine Erregung; vielmehr erschien diese erst als die Lösung fortgewaschen war, und stieg dann bald auf ihre volle Höhe.

---

2097. Nachdem ich diese Punkte hinsichtlich der Nothwendigkeit des Daseins und der Reinheit des Wassers ermittelt hatte, untersuchte ich zunächst den Einfluss der Substanz, an welche der Strom von Dampf uud Wasser sich rieb. Zu dem Ende gebrauchte ich anfangs Kegel (2077) von verschiedenen Substanzen isolirt oder nicht. Folgende, nämlich:

Messing, Buchsbaum, Büchenholz, Elfenbein, Leinen, Kasimir, weisse Seide, Schwefel, Kautschuck, geölte Seide, lackirtes Leder, geschmolzenes Kautschuck und Harz, wurden sämmtlich negativ, machten also den Strom aus Dampf und Wasser positiv. Die Gewebe (*fabrics*) wurden über Holzkegel ausgespannt. Das geschmolzene Kautschuck wurde auf einem buchshölzernen oder leinenen Kegel ausgebreitet, und der Harzkegel war ein leinener Kegel, der in eine concentrirte Lösung von Harz und Alkohol getaucht und darauf getrocknet worden. Ein in Terpenthinöl getauchter Holzkegel, ein anderer mit Baumöl getränkter, und ein mit alkoholischer Harzlösung bestrichener und darauf getrockneter Messingkegel waren anfangs wirkungslos und wurden darauf allmählich negativ, wobei es sich aber ergab, dass dann das Terpenthinöl, das Baumöl und das Harz sich von den durch den Strom aus Dampf und Wasser getroffenen Stellen abgelöst hatten. Ein Kegel von Kasimir, der zwei oder drei Mal nacheinander in eine alkoholische Harzlösung getaucht und darauf getrocknet worden, wirkte sehr unregelmässig, ward bald positiv, bald negativ, in einer Weise, die anfangs schwer, hernach aber (2113) leicht zu begreifen war.

2098. Das Ende einer Schellackstange ward auf einen Moment in den Strom aus Dampf und Wasser gehalten, und dann an ein Goldblatt-Elektrometer gebracht. Es zeigte sich negativ, genau wie wenn es mit einem Stück Flanell gerieben worden. Die Ecke einer Schwefelplatte verhielt sich eben so, wenn sie auf gleiche Weise untersucht wurde.

2099. Eine andere Methode, die geriebene Substanz zu untersuchen, bestand darin, dieselbe in Form von Drähten, Fäden oder Stücken anzuwenden, und, während sie mit dem Goldblatt-Elektrometer verbunden war, an einer isolirten Handhabe in den Dampfstrom zu halten. Auf diese Weise wurden folgende Substanzen untersucht:

| | | |
|---|---|---|
| Platin | Rosshaar | Holzkohle |
| Kupfer | Bärenhaar | Asbest |
| Eisen | Flintglas | Cyanit |
| Zink | Grünglas | Hämatit |
| Schwefelkupfer | Federkiel | Bergkrystall |
| Leinen | Elfenbein | Operment |
| Baumwolle | Schellack auf Seide | Schwerspath |
| Seide | Schwefel auf Seide | Gyps |
| Wollen-Garn | Stangenschwefel | Kohlens. Kalk |
| Holz | Graphit | Flussspath |

Alle diese Substanzen wurden negativ, obwohl nicht in gleichem Grade. Diese anscheinende Verschiedenheit im Grade hängt nicht bloss ab von der specifischen Tendenz, negativ zu werden, sondern auch von der Leitungsfähigkeit des Körpers, vermöge welcher derselbe seine Ladung an das Elektrometer abgiebt; ferner von seiner Neigung, feucht zu werden (welche sehr verschieden ist, z. B. bei Schellack oder Federkiel einerseits und Glas oder Linnen andererseits), was auf seine Leitungsfähigkeit einwirkt; und endlich von seiner Gestalt und Grösse. Dessungeachtet konnte ich unterscheiden, dass Bärenhaar, Federkiel und Elfenbein, verglichen mit den anderen Körpern, ein sehr geringes Vermögen zur Elektricitäts-Erregung besitzen.

2100. Ich muss hier ein Paar Bemerkungen machen über die Einbringung der Körper in den Dampfstrom. Um die Verdichtung an der Substanz zu verhüten, machte ich einen Platindraht durch eine isolirte Volta'sche Batterie weissglühend und brachte ihn in den Strahl. Er wurde bald durch diesen bis auf 212° F. abgekühlt, konnte jedoch natürlich niemals unter den Siedpunkt kommen. Kein Unterschied war sichtbar zwischen der Wirkung der ersten Eintauchung und jedem späteren Zeitpunkt derselben. Er wurde augenblicklich elektrisirt und zwar negativ.

2101. Die angewandten Fäden wurden über eine Gabel von steifem Draht ausgespannt, und mit ihrer Mitte in den Dampf gehalten. Wenn hierbei die Schnur oder der Faden genau in der Mitte des Strahles gehalten, und längst auf sie gesehen wurde, so erschienen sie ruhig; führte man sie aber im Mindesten rechts oder links von der Axe des Strahls, so vibrirten oder rotirten sie (sehr natürlich), wobei sie einen schönen Kreis beschrieben, dessen Tangente die Axe des Strahles war. Das Interessanteste war, dass, wenn der Faden rotirte, gleichsam mit dem Strom wanderte, wenig oder keine Elektricität erregt wurde, wogegen sich, sobald er nahe oder ganz ruhig war, eine Fülle von Elektricität zeigte, somit den Effect der Reibung erläuternd.

2102. Der Unterschied in der Beschaffenheit der oben (2099) beschriebenen Substanzen giebt ein werthvolles Mittel zur Abänderung der Versuche. So macht eine metallene, gläserne oder hölzerne Röhre*) (2076), als Dampfmündung

---

*) Eine Holzröhre, 3 Zoll lang und innen 0,2 Zoll weit, gut mit destillirtem Wasser durchzogen und in die Dampfkugel geschraubt, ist ein bewundernswürdiger Elektricitäts-Erreger.

benutzt, den Kessel gut negativ und den Dampf stark positiv. Wenn man aber einen Federkiel, oder, besser noch, eine Elfenbeinröhre anwendet, so erhält der Kessel kaum eine Ladung, und der Dampfstrom ist auch neutral. Dies Resultat unterstützt nicht nur den Beweis, dass die Elektricität nicht von der Verdampfung herrührt, sondern ist auch für die experimentelle Untersuchung sehr werthvoll. Es war in einem solchen neutralen Strom aus Dampf und Wasser, worin die Erregung der vorhin beschriebenen Körper (2099) erlangt wurde.

2103. Es können demnach Substanzen entweder in den neutralen Strahl aus einem Elfenbeinrohr oder in den positiven aus einer Holz- oder Metallröhre gehalten werden, und im letzteren Falle treten Erscheinungen ein, welche, nicht verstanden, zu grosser Verwirrung führen. So hielt ich einen isolirten Draht in den aus einem Glas- oder Metallrohr hervorkommenden Dampfstrom, etwa einen halben Zoll von der Mündung des Rohrs, und fand ihn unerregt. Entfernte ich ihn mehr, so wurde er positiv, näherte ich ihn dagegen mehr der Röhre, so war er negativ. Diess entsprang einfach daraus, dass der Draht, wenn er dem Rohre nahe, in dem kräftigen Theil des Stromes war, erregt und negativ wurde, dabei den Dampf und Wasserstrom positiver als zuvor machte, dass er dagegen weiter ab, in dem ruhigeren Theil des Stromes, bloss als Entlader des zuvor in der Ausgangsröhre erregten Stromes diente, und somit denselben Zustand wie dieser zeigte. Platin, Kupfer, Band (*string*), Seide, Holz, Graphit oder irgend eine andere der zuvor (2099) genannten Substanzen, mit Ausnahme von Federkiel, Elfenbein und Bärenhaar, konnte auf diese Weise positiv oder negativ gemacht werden, je nachdem sie, durch den ihr in dem Strom gegebenen Platz, als Erreger oder Entlader benutzt wurde. Ein Stück feinen Drahtnetzes, quer vor dem Strom gehalten, zeigt die obige Erscheinung niedlich. Eine Verschiebung von einem Achtelzoll rück- oder vorwärts aus der centralen Stelle ändert schon den elektrischen Zustand des Netzes.

2104. Wenn statt eines erregten Stroms von Dampf und Wasser (2103), ein aus einem Elfenbeinrohr (2102) heraustretender, neutraler angewandt wird, kann man den Drähten u. s. w. nicht mehr abwechselnd die beiden Zustände geben. Sie können zwar negativ (2099), aber in keinem Abstande zu Entladern oder positiv gemacht werden.

2105. Wir haben bereits gesehen, dass das Dasein einer sehr geringen Menge einer Substanz, die das Wasser leitend

zu machen vermag, alle Erregungsfähigkeit fortnimmt (2090 etc.) bis zu den höchsten Graden von Druck, d. h. mechanischer Reibung, die ich anwandte (2086). Das Nächste war nun zu versuchen, ob dies für alle durch den Strom geriebene Substanzen gelte, oder ob sich dem Grade nach Unterschiede bei denselben zeigen würden. Ich untersuchte daher wiederum alle Körper und setzte einmal etwa zwei Gran Glaubersalz zu den vier Unzen Wasser, welche die Dampfkugel bei regelmässiger Wirkung beständig enthielt; ein ander Mal fügte ich noch nicht ein Viertel so viel Schwefelsäure hinzu (2091). In beiden Fällen blieben alle die Substanzen (2099) gänzlich neutral. Sehr wahrscheinlich würde eine grosse Verstärkung des Druckes einige Wirkung gegeben haben (2086).

2106. Ich that Schwefelsäure von der äussersten Schwäche bis zur beträchtlichen Sauerheit in die Dampfkugel, und wandte Röhren und Kegel von Zink an, konnte aber keine Spur von Elektricität erhalten. Chemische Action scheint daher mit der Elektricitätserregung durch den Dampfstrom nichts zu schaffen zu haben.

2107. Nachdem ich sonach das Resultat der Reibung von Dampf und Wasser gegen so viele Körper angegeben, will ich hier noch den merkwürdigen Umstand hervorheben, dass das Wasser gegen sie alle positiv ist. Wahrscheinlich steht es über allen Substanzen, selbst über Katzenhaar und kleesaurem Kalk (2131). Wir werden späterhin finden, dass wir es in unserer Macht haben, nicht nur, durch Anwendung einer Elfenbeinröhre (2102), das Positivwerden des Dampf- und Wasserstroms zu verhüten, sondern auch seine eigene Elektricität, wenn er durch oder gegen Substanzen, wie Holz, Glas, Metall u. s. w., strömt, zu schwächen. Ob wir, bei einem so geschwächten Strom, unter den oben (2099) genannten Körpern einige finden werden, welche ihn positiv, und andere, welche ihn negativ machen, ist eine noch zu beantwortende Frage.

---

2108. Im Fortschritt der Untersuchung war es nun eine neue Frage, wie sich andere Körper als Wasser bei der Fortführung ihrer Theilchen durch den Dampfstrom verhalten würden. Zu dem Ende wurde der Fütter-Apparat (2078) aufgesetzt und mit Terpenthinöl geladen, um dieses nach Belieben in die Mündung des Dampfkanals zu bringen. Zuerst wurde

der Fütter-Hahn geschlossen, und der austretende Strom von Dampf und Wasser machte den Kessel negativ. Als nun Terpenthinöl hinabgelassen wurde, änderte sich dieser Zustand sogleich; der Kessel wurde stark positiv, und der Strom von Dampf u. s. w. eben so stark negativ. Bei Abschliessung des Oels verschwand dieser Zustand allmählich, und nach einer halben Minute war der Kessel so negativ als anfangs. Die Einführung von mehr Terpenthinöl machte ihn wieder positiv, und so hatte man die Erscheinungen ganz in seiner Gewalt.

2109. Als der Fütter-Apparat fortgenommen und bloss die Dampfkugel nebst einer hölzernen Ausgangsröhre (2076) angewandt wurde, war das Resultat eben so schön. Mit reinem Wasser in der Kugel war der Kessel negativ und der austretende Dampf etc. positiv. Allein ein Paar Tropfen Terpenthinöl, in die Dampfkugel mit dem Wasser gebracht, machten sogleich den Kessel positiv und den ausströmenden Dampf negativ. Bei Anwendung der kleinen Zwischenkammer *C* (2079) waren die Wirkungen eben so entscheidend. Ein Stück neues Segeltuch, zu einem Ring geformt, mit Terpenthinöl benetzt und in die Büchse gebracht, machte, so lange eine Spur der Flüssigkeit in der Büchse war, den Kessel positiv und den ausströmenden Dampf negativ.

2110. So kann der positive oder negative Zustand nach Belieben entweder der geriebenen Substanz oder dem reibenden Strom gegeben werden, besonders mittelst Terpenthinöl, da, wegen seiner vollkommenen und leichten Verflüchtigung bei fortdauerndem Ausströmen des Dampfes, der neue Effect bald verschwindet, aber auf abermaligen Zusatz sogleich wieder erscheint.

2111. Mit Olivenöl sind im Allemeinen die Erscheinungen dieselben, d. h. der Strom von Dampf etc. wird negativ, und die geriebene Substanz positiv. Allein wegen der verhältnissmässigen Unflüchtigkeit des Oels ist der Zustand bleibender; sehr wenig Oel, in die Dampfkugel (2076) oder die Kammer *C* (2079) oder die Ausgangsröhre gebracht, macht den Kessel für lange Zeit positiv. Es ist jedoch erforderlich, dass diess Oel sich an solcher Stelle befinde, dass der Dampfstrom, nachdem er durch dasselbe gegangen, gegen andere Substanzen reibe. Nahm man z. B. eine Holzröhre (2076. 2102) zum Erreger und brachte etwas Oel an deren inneres Ende, oder an das Ende, worin der Dampf eintrat, so wurde sie positiv und der austretende Dampf negativ; brachte man aber das

Oel an das äussere Ende der Röhre an, so war diese Röhre, wie bei reinem Wasser, negativ und der ausströmende Dampf positiv.

2112. Wasser ist wesentlich für diese Elektricitäts-Erregung durch fettes Oel, denn wenn die Dampfkugel vom Wasser geleert wurde, konnte man Oel in diese und die Kanäle bringen, ohne dass eine Erregung stattfand. Zwar war der erste Effect (2089) wirklich eine Erregung, bei welcher der Kessel positiv wurde, allein dieser Effect rührte von dem in dem Kanale verdichteten Wasser her, verbunden mit der Wirkung des Oels. Späterhin als Alles heiss war, fand keine Elektricitäts-Erregung statt.

2113. Ich versuchte manche andere Substanzen mit der Kammer *C* und anders geformten Apparaten, dabei die feuchte Holzröhre (2102) als den Ort und die Substanz der Elektricitäts-Erregung des Dampfstroms benutzend. Speck, Wallrath, Bienenwachs, Ricinusöl, Harz, gelöst in Alkohol; alle diese, nebst Baumöl, Terpenthinöl und Lorbeeröl machten den Kessel positiv und den austretenden Dampf negativ. Von Substanzen mit dem umgekehrten Vermögen ist zweifelhaft, ob irgend eine über dem Wasser stehe. Schwefelkohlenstoff, Naphtalin, Schwefel, Kampher, geschmolzenes Kautschuck, schienen zuweilen, im strengen Gegensatz zu den vorher genannten Körpern, den Kessel sehr negativ zu machen, allein, als gleich darauf Wasser versucht wurde, schien es dies ganz eben so stark zu thun. Einige der letzteren Substanzen, nebst Oelgas-Flüssigkeit, Naphtha und Kautschuck, gaben zuweilen veränderliche Resultate, wie wenn sie die Folge unregelmässiger und complicirter Effecte wären. In der That ist leicht einzusehen, dass eine Substanz, je nachdem sie an dem geriebenen Körper haftet, oder von dem Dampfstrom fortgeführt wird, also vom Geriebenen zum Reiber wird, verschiedenartige Wirkungen geben muss. Dies, glaube ich, war der Fall bei dem zuvor erwähnten Kegel aus Harz (2097).

2114. Dass Salze, Säuren etc., wenn sie im Wasser vorhanden, dessen Wirkung vernichten, habe ich bereits erwähnt (2090 etc.). Hinzufügen kann ich noch, dass Schwefeläther, Holzgeist und Borsäure dasselbe thun.

2115. Alkohol schien anfangs den Kessel positiv zu machen. Halb Alkohol und halb Wasser machten den Kessel negativ, doch viel schwächer als reines Wasser.

2116. Zu bemerken ist, dass eine Substanz, die das umgekehrte Vermögen des Wassers, jedoch nur in geringem Grade,

besitzt, dieses nur durch eine Schwächung des Vermögens des Wassers äussern kann. Diese Verringerung des Vermögens ist in ihrer Ursache sehr verschieden von der, welche aus der Erhöhung der Leitungsfähigkeit des Wassers, durch Zusatz eines Salzes (2090) entspringt, obwohl der sichtbare Effect derselbe ist.

2117. Soll der ausströmende Dampf bleibend negativ sein, so erlangt man dies sehr leicht. Es genügt dazu, etwas Oel oder Wachs in die Dampfkugel (2076) oder einen dicken Ring von Schnur oder Hanf, getränkt mit Wachs oder einer alkoholischen Harzlösung, in die Kammer *C* (2079) zu bringen. Richtet man es dabei gehörig ein, so ist es leicht, die Kraft des Wassers zu neutralisiren, so dass der ausströmende Dampf weder elektrisch ist, noch an dem geriebenen Körper sich elektrisirt.

2118. Wir sind demnach zu drei Methoden gelangt den Strom aus Dampf und Wasser neutral zu machen, nämlich durch Benutzung einer Elfenbeinröhre oder eines Federkiels (2102), durch Lösung von Substanzen in Wasser (2090 etc.) und durch Neutralisation von dessen natürlichem Vermögen durch die entgegengesetzte Kraft von Oel, Harz etc.

2119. Bei den Versuchen der eben beschriebenen Art kann eine Elfenbeinröhre nicht mit Sicherheit mit Säuren oder Alkalien in der Dampfkugel angewandt werden, denn diese greifen das Elfenbein an, ändern, durch Ausscheidung oder Lösung der öligen Substanz dessen Zustand ab, und machen sein eigenthümliches Erregungsvermögen sehr veränderlich. Auch andere Umstände wirken zuweilen kräftig darauf ein (2144).

2120. Sehr wenig Oel in den Reibungskanälen hat einen grossen Einfluss, und dies war aufangs eine Quelle beträchtlicher Verdriesslichkeiten, indem fortwährend unerwartete Resultate erschienen. Ein wenig in dem Gang einer unvermutheten Schraube verborgen, ist hinreichend, für eine Woche den Effect jeder Einrichtung zu verderben. Digeriren und Waschen mit etwas Alkalilösung und Vermeiden aller geölten Wäscher (*all oiled washer*) ist das beste Mittel bei delicaten Versuchen das Uebel zu vermeiden. Zuweilen habe ich gefunden, dass ein Kanal, der, von etwas geschmolzenem Kautschuck, bis zu einem gewissen Grade bleibend negativ, oder durch Oel, Harz etc. positiv war, dadurch gänzlich gereinigt werden konnte, dass man etwas Terpenthinöl durchblies. Der Kanal nahm dann für eine Weile den positiven Zustand an; allein wenn jenes durch den Strom fortgenommen war (2110), zeigte er sich vollkommen rein und gut in seinem normalen Zustande.

2121. Ich versuchte nun die Wirkung von Oel u. s. w., wenn etwas Salz oder Säure dem Wasser in der Dampfkugel (2090 etc.) zugefügt war, und fand, dass wenn das Wasser in dem Zustand war, dass es für sich keine Kraft ausübte, doch Terpenthinöl, Oel oder Harz in der Kammer *C* die Kraft zeigten, in Verbindung mit solchem Wasser, den Kessel positiv zu machen; doch schien ihre Kraft geschwächt. Verstärkung der Spannkraft des Dampfes würde sie hier, wie in allen andern Fällen, das leidet wenig Zweifel, wiederum erhöht haben. Wenn Alkali in der Dampfkugel war, so verloren Oel und Harz sehr viel von ihrer Kraft, Terpenthinöl aber sehr wenig. Diese Thatsache wird späterhin wichtig (2126).

2122. Wir haben gesehen, dass Körper, wie Oel, in den Dampfstrom gebracht, dessen Kraft verändern (2108); allein nur durch den Versuch konnten wir ermitteln, ob diese Veränderung so weit gehe, dass die Elektricität für wenige oder viele der vom Dampf geriebenen Substanzen geändert werde. Mit Olivenöl in der Kammer *C* werden alle zuvor (2097) aufgezählten Kegel positiv. Mit Essigsäure in der Dampfkugel werden sie alle neutral (2091). Mit Harz in der Kammer *C* werden alle Substanzen der früheren Liste (2099), keine ausgenommen, positiv.

---

2123. Die merkwürdige Eigenschaft des Oels, Terpenthinöls, Harzes u. s. w., in sehr geringer Menge das Erregungsvermögen des Wassers zu schwächen, obwohl einige von ihnen (2112) ohne Wasser wirkungslos sind, wird einige theoretische Betrachtungen über deren Wirkungsweise entschuldigen. Zunächst erhellt, dass Dampf allein durch Reibung keine Elektricität zu erregen vermag, sondern dass es nur die von ihm mit fortgeführten Wasserkügelchen sind, die, über den Körper hinwegstreichend, denselben reibend, und von diesem abgerissen (2085), die Elektricität erregen und selbst elektrisch werden, gerade wie wenn die Hand auf einer Schellackstange hinwegfährt. Wenn Baum- oder Terpenthinöl zugegen ist, so bestehen die Kügelchen, glaube ich, aus diesen Substanzen, und es ist nicht mehr das Wasser, sondern die neue Flüssigkeit, welche den getroffenen Körper reibt.

2124. Die Gründe zu dieser Ansicht sind folgende: Wenn ein in Baum- oder Leinöl getauchter Holzsplitter die Oberfläche von Wasser berührt, so breitet sich sogleich eine Haut von

diesem Oele darauf aus. Es ist also gewiss, dass jedes Wasserkügelchen, welches durch die Baum- oder Terpenthinöl enthaltende Kammer *C* geht, mit einem Häutchen davon überzogen ist. Wenn ferner eine Waagschale von Metall, Holz oder anderer Substanz, wohl gereinigt und benässt mit Wasser, auf die Oberfläche von Wasser in eine Schüssel gebracht wird, und man belastet die andere Schale, bis sie beinahe, doch nicht ganz, die erste von dem Wasser abreisst, so hat man dann ein rohes Maass der Cohäsionskraft des Wassers. Wenn nun der ölige Holzsplitter irgendwo die reine Fläche des Wassers in der Schüssel berührt, so wird das Oel sich nicht nur auf der Wasserfläche ausbreiten, sondern auch die Schale von dem Wasser lostrennen, und wenn man diese wieder niederdrückt, wird das Wasser nicht mehr im Stande sein, sie festzuhalten. Hier erleichtert also offenbar das Oel die Zertheilung des Wassers durch eine sonst nicht hinlängliche mechanische Kraft und bekleidet die entstandenen Theilchen mit einer Schicht seiner eigenen Substanz.

2125. Alles dies muss in dem Dampfstrom in grösserem Maasse stattfinden; die Wassertheilchen müssen darin mit einem Oelhäutchen bekleidet sein. Die Zartheit des Häutchens ist kein Einwurf gegen die Voraussetzung, denn die Erregung geschieht ohne Zweifel an der Oberfläche, wo das Häutchen als vorhanden angenommen wird, und solch ein Kügelchen, obwohl fast ganz aus Wasser bestehend, kann als ein Oelkügelchen wirken und durch seine Reibung das Holz u. s. w. positiv machen, während es selbst negativ wird.

2126. Dass Wasser, welches durch ein wenig Salz oder Säure unwirksam gemacht ist, doch die Wirkung des ihm anhaftenden Oelhäutchens (2121) zeigt, stimmt mit dieser Ansicht vollkommen überein. So auch die noch auffallendere Thatsache, dass alkalisirtes Wasser (2092), das für sich keine Kraft besitzt, die Kraft des Olivenöls und Harzes bedeutend schwächt, dagegen die des Terpenthinöls kaum verändert (2121), denn Olivenöl und Harz bilden dann nicht mehr eine Haut auf dem Wasser, sondern lösen sich, während das Terpenthinöl fortfährt diese Haut zu bilden.

2127. Dass Harz eine starke Wirkung giebt und Schwefel nicht, ist auch in der Ordnung, denn ich finde, dass Harz auf siedendem Wasser schmilzt und eben so auf eine Waagschale wirkt wie Oel (2124), wogegen Schwefel diese Eigenschaft nicht besitzt, weil sein Schmelzpunkt zu hoch ist.

2128. Es ist sehr wahrscheinlich, dass, wenn Holz, Glas oder selbst Metall durch diese Oelströme gerieben wird, das Oel nicht bloss als reibend an Holz u. s. w., sondern auch an Wasser betrachtet werden muss, indem nun Wasser an der Seite des Geriebenen ist. Unter diesen Umständen hat das Wasser eine grössere Anziehung zum geriebenen Holz als das Oel, denn in dem Dampfstrom werden Leinwand, Holz u. s. w., die lange Zeit mit Oel getränkt worden, schnell von diesem befreit und mit Wasser gesättigt. In solchen Fällen wird dann noch die Positivität der geriebenen Substanz und die Negativität des ausströmenden Dampfes erhöht.

---

2129. Nachdem ich die Versuche so weit mit Dampf angestellt, und die Ansicht erlangt hatte, dass der Dampf an sich unwirksam sei, und bloss als mechanisches Mittel, welches die reibenden Theilchen forttreibt, wirke, schritt ich zu Versuchen mit comprimirter Luft*). Zu dem Ende benutzte ich eine starke Kupferbüchse, 46 Kubikzoll fassend, mit zwei Hähnen, durch welchen einen die Luft immer eingepumpt ward, während der andere als Ausgangsröhre diente. Die Büchse war sorgfältig durch Aetzkali gereinigt. Aeusserste Sorgfalt war getroffen (und erforderlich), um Oel, Wachs oder Harz an den Ausgangsöffnungen zu entfernen und zu vermeiden. Die Luft wurde durch eine Compressionspumpe eingepumpt, und in Fällen, wo sie trocken sein musste, wurden vier oder fünf Unzen Aetzkali in Stangen in die Büchse gethan, und die verdichtete Luft zehn oder fünfzehn Minuten lang mit ihnen in Berührung gelassen. Die Luftmenge, welche man durchschnittlich bei jedem Versuch ausströmen liess, betrug 150 Kubikzoll. Es war sehr schwierig, diese Luft von dem Oelgeruch zu befreien, den sie in der Compressionspumpe erlangt hatte.

2130. Zunächst will ich von ungetrockneter gemeiner Luft reden. Wenn solche Luft plötzlich gegen den Messing- oder Holzkegel (2077) herausgelassen wurde, so machte sie denselben negativ, genau wie der Strom aus Dampf und Wasser (2097). Ich schrieb dieses den Wassertheilchen zu, welche durch die Ausdehnung und Abkühlung der an dem Metall oder Holz sich reibenden Luft verdichtet werden. Solche Theilchen werden

*) Auch Hr. *Armstrong* hat Luft in grösseren Quantitäten angewandt. Phil. Mag. 1841, Vol. XVIII, p. 113, 328.

in dem erscheinenden Nebel sichtbar, so wie auch dadurch, dass sie die Oberfläche des Holzes oder Metalls feucht machen. Die hierbei entwickelte Elektricität stimmt ganz mit der durch Dampf und Wasser erregten, und widerspricht der Ansicht, dass sie von der Verdampfung herrühre (2083), auf's Schlagendste.

2131. Als man jedoch gemeine Luft gegen Eis strömen liess, machte sich dieses positiv, ein Mal wie das andere, während sie dazwischen Holz und Metall negativ elektrisirte. Dies bestätigt die hohe Positivität, welche schon dem Wasser beigelegt wurde (2107).

2132. Bei Versuchen mit trockner Luft (2129) fand ich, dass sie in allen Fällen ganz unfähig war, an Kegeln von Holz, Schwefel oder Messing (2077. 2097) Elektricität zu erregen; allein wenn ich, mitten in diesen Versuchen, einen Theil der Luft, sogleich nach ihrer Compression, herausliess, ihr nicht Zeit zum Trocknen liess, so machte sie das geriebene Holz oder Messing negativ (2130). Dies ist für mich ein überzeugender Beweis, dass in den früheren Fällen der Effect von dem verdunsteten Wasser herrührte, und dass weder Luft allein noch Dampf allein Körper, wie Messing u. s. w., so erregen kann, dass sie die in Untersuchung genommenen Erscheinungen zeigen.

2133. Hierauf befestigte man die Büchse *C* an diesem Luft-Apparat und machte die Versuche mit verschiedenen in dieselbe gebrachten Substanzen (2108): dabei gemeine Luft als fortführendes Vehikel gebrauchend.

2134. Mit destillirtem Wasser in *C* war der Metallkegel ab und zu negativ, häufiger aber neutral. Der Mangel eines immerwährenden Luftstroms störte sehr die gehörige Abpassung des gehörigen Antheils Wasser in dem austretenden Strom.

2135. Mit gemeinem Wasser (2090), einer sehr verdünnten Salzlösung, sehr verdünnter Säure (2091) oder Ammoniak konnte ich niemals irgend eine Spur von Elektricität erhalten.

2136. Mit Terpenthinöl allein in der Büchse *C* wurde der Metallkegel positiv, wurden aber Wasser und Terpenthinöl zugleich hineingethan, so wurde der Kegel sehr positiv, weit mehr als zuvor. Gegen Eis gesandt, ward dieses positiv.

2137. Baumöl und Wasser oder alkoholische Harzlösung und Wasser auf dieselbe Weise in *C* gebracht, machte den Kegel positiv, genau wie wenn diese Substanzen durch den Strom mit fortgerissen wären.

2138. Obwohl die Untersuchung, was den Dampfstrom betrifft, hiermit als geschlossen betrachtet werden konnte, so wurde ich doch veranlasst im Zusammenhang mit dem Gegenstand einige Versuche mit dem Luftstrom und trocknen Pulvern zu machen. Schwefelblumen machten sowohl Metall als Holz, ja selbst einen Schwefelkegel negativ; nur einmal machten sie das Metall positiv. Gepülvertes Harz machte im Allgemeinen Metall negativ und Holz positiv, zeigte aber Unregelmässigkeiten und gab oft beide Zustände in einem und demselben Versuch, indem es anfangs die Goldblättchen zum Divergiren brachte und sie doch am Ende ungeladen liess. Gummi gab unstete und doppelte Resultate wie das Harz. Stärke machte Holz negativ. Kieselerde, entweder als fein gepülverter Bergkrystall oder als Niederschlag aus Fluorkieselsäure durch Wasser, gab sehr beständige und kräftige Resultate; sie machte sowohl Metall als Holz stark positiv, und wenn sie mit einem feuchten isolirten Brett aufgefangen wurde, zeigte sie sich negativ.

2139. Diese Versuche mit Pulvern veranlassen ein Paar Bemerkungen. Zunächst ward der hohe Grad von Reibung, der zwischen den vom Dampf oder von der Luft fortgeführten Theilchen stattfindet, wohl erläutert durch den Vorgang beim Schwefel. Er zeigte sich in dem ihm entgegengehaltenen Kegel von trocknem Buchsbaumholz mit solcher Kraft eingetrieben, dass er nicht abgewaschen oder abgewischt werden konnte, sondern nur durch Abkratzen zu entfernen war. Nächstdem waren die doppelten Erregungen sehr merkwürdig. Bei einem Versuch öffneten sich die Goldblättchen anfangs sehr weit und fielen dann plötzlich zusammen, während der Strom noch fortdauerte, und zuletzt blieben sie neutral, oder sehr wenig positiv oder negativ zurück. Dies war besonders der Fall beim Gummi und Harz. Die Anhaftung einiger der zu Anfange des Blasens herausgerissenen Theilchen an das Holz und der Niederschlag von Feuchtigkeit durch die Ausdehnung der Luft sind Umstände, welche, neben andern, diese veränderlichen Resultate hervorzubringen suchen.

2140. Schwefel ist nahe, und Kieselerde sehr constant in den Resultaten, doch sind ihre Zustände die umgekehrten von denen, die man wohl erwarten möchte. Schwefel in Stücken ward negativ beim Reiben an Holz oder irgend eins der von mir versuchten Metalle und machte diese positiv (2141), und doch machte er in den obigen Versuchen immer beide negativ.

Kieselerde, als Krystall, an Harz und Metall gerieben, macht diese negativ; allein so angewandt wie oben, macht sie dieselben stark positiv. Diese Verschiedenheiten müssen eine natürliche Ursache haben; für jetzt müssen sie jedoch als unvollkommene Resultate stehen bleiben, da ich nicht Zeit habe sie weiter zu untersuchen.

2141. Zur Erläuterung der Wirkungen, die Dampf und Wasser beim Reiben mit andern Körpern gaben, rieb ich diese andern Körper (2099) paarweise zusammen, um ihre Ordnung zu ermitteln. Ich fand sie wie folgt:

1. Katzen- oder Bärenhaar
2. Flanell
3. Elfenbein
4. Federkiel
5. Bergkrystall
6. Flintglas
7. Baumwolle
8. Leinwand, Segeltuch
9. Weisse Seide
10. Die Hand
11. Holz
12. Lack
13. Metalle (Eisen, Kupfer, Messing, Zinn, Silber, Platin)
14. Schwefel

Jeder dieser Körper wurde negativ gegen die vorhergehenden und positiv gegen die nachfolgenden. Es giebt jedoch einige Ausnahmen von dieser Regel. So war eine Stelle eines Katzenfells sehr negativ gegen eine andere und selbst gegen Bergkrystall. Auch verschiedene Stücke Flanell wichen sehr von einander ab.

2142. In einigen Fällen macht auch die Art des Reibens einen grossen Unterschied, obwohl es nicht leicht ist zu sagen warum, da die Theilchen, welche wirklich reiben, denselben constanten Unterschied darbieten müssten. Eine Feder leicht auf Segeltuch hinweggestrichen, wird stark negativ, und dennoch wird dieselbe Feder, mit etwas Druck zwischen den Falten desselben Segeltuch durchgezogen, stark positiv. Diese Effecte wechseln ab, so dass es leicht ist, den einen Zustand in einem Moment fortzunehmen durch den Grad des Reibens, der den andern Zustand hervorruft. Halbirt man ein Stück Flanell und zieht die beiden Stücke quer auf einander hin, so haben beide unregelmässig verschiedene Zustände, oder dasselbe Stück zeigt beide Zustände an verschiedenen Stellen, oder beide Stücke zeigen sich zuweilen negativ, in welchen Fällen ohne Zweifel die Luft positiv geworden und darauf entwichen sein muss.

2143. Elfenbein ist merkwürdig in seinem Verhalten. Es ist sehr schwierig durch Reiben an Metall zu erregen, schwieriger

als Leinwand, Baumwolle, Holz u. s. w., welche in der Skale (2141) unter ihm stehen und zugleich bessere Leiter sind. Dennoch würden die beiden Umstände erwarten lassen, dass es, beim Reiben an Metallen, besser als sie erregte. Diese Eigenschaft hat wahrscheinlich Einfluss darauf, dass eine Röhre von ihm den Dampf nicht erregt (2102).

2144. Ehe ich diesen Aufsatz schliesse, will ich erwähnen, dass eine dünne Elfenbeinröhre, die ich zu vielen Versuchen mit Oel, Harz u. s. w. in einem Kork (2076) befestigt hatte, zuletzt einen solchen Zustand annahm, dass sie nicht nur einen erregenden Kanal für den Dampf darstellte, sondern auch auf ihn einen vernichtenden Einfluss ausübte, denn der durch sie strömende Strahl von Dampf und Wasser erregte keine Elektricität an irgend einem der vorgehaltenen Körper, wie bei einer früheren Gelegenheit (2099). Die Röhre war anscheinend ganz rein, und ward späterhin in Alkohol getränkt, um alles Harz zu entfernen, behielt aber ihren eigenthümlichen Zustand.

2145. Endlich will ich noch sagen, dass die Ursache der Elektricitäts-Erregung bei der Freilassung von eingeschlossenem Dampf nicht Verdampfnng ist, sondern, wie ich glaube, Reibung, dass sie also mit der allgemeinen Elektricität der Atmosphäre und deren Erzeugung in keinem Zusammenhang steht, und dass, so weit ich zu ermitteln vermochte, reine Gase, d. h. Gase, unvermengt mit starren oder flüssigen Theilchen, bei Reibung an starren und flüssigen Substanzen keine Elektricität erregen*).

---

*) Vergl. *Armstrong*, Phil. Mag. Vol. XVII, pp. 370 und 452; Vol. XVIII, pp. 50, 123 und 328; Vol XIX, p. 25; Vol. XX, p. 5; Vol. XXII, p. 1. — *Pattinson*, Phil. Mag. Vol. XVII, pp. 375, 457. — *Schafhaeutl*, Phil. Mag. Vol. XVII, p. 449; Vol. XVIII, pp. 14, 95, 265. —

## Neunzehnte Reihe.

(Philosoph. Transact. f. 1846. — Pogg. Ann. Band LXVIII.)

### XXVI. Ueber die Magnetisirung des Lichts und die Belichtung der Magnetkraftlinien*).[2])

#### 1. Wirkung der Magnete auf Licht.

2146. Seit lange habe ich, vermuthlich mit vielen anderen Freunden der Naturkunde, die an Ueberzeugung streifende Meinung gehegt, dass die verschiedenen Formen, unter denen die Kräfte der Materie auftreten, einen gemeinschaftlichen Ursprung haben, oder, mit anderen Worten, so in directem Zusammenhange und gegenseitiger Abhängigkeit stehen, dass sie gleichsam in einander verwandelt werden können, und

---

*) Der Titel dieses Aufsatzes hat, wie ich höre, Manchem zu einem Missverständnisse hinsichtlich seines Inhaltes Anlass gegeben, und ich nehme mir daher die Freiheit, diese erläuternde Note beizufügen. Ohne die Hypothese von einem Aether, oder die Corpuscular- oder irgend eine sonstige Ansicht über die Natur des Lichts anzunehmen oder zu verwerfen, ist meines Erachtens von einem Lichtstrahl wirklich nichts mehr bekannt, als von einer Linie der elektrischen oder magnetischen Kraft, oder selbst der Schwerkraft, ausser dass er und sie in und durch Substanzen manifestirt werden. Ich glaube daher, dass bei den von mir in diesem Aufsatz beschriebenen Versuchen das Licht magnetisch afficirt worden ist, d. h. dass das, was in den Kräften der Materie magnetisch ist, afficirt worden, und andererseits das, was in der Kraft des Lichts wahrhaft magnetisch ist, afficirt hat. Mit dem Worte magnetisch umfasse ich hier die besonderen Aeusserungen der Kraft eines Magnets, sie mögen in magnetischen oder diamagnetischen Körpern auftreten. Der Ausdruck: »Belichtung der Magnetkraftlinien«, ist so verstanden worden, als sagte er, ich hätte diese Linien leuchtend gemacht. Das kam mir nicht in den Sinn. Ich wollte damit nur sagen, dass die Magnetkraftlinie belichtet war, wie es die Erde von der Sonne, oder das Fadenkreuz eines Fernrohrs von der Lampe wird. Bei Anwendung eines Lichtstrahls können wir mit dem Auge die Richtung der magnetischen Linien in einem Körper angeben, und durch Abänderung des Strahls und seiner optischen Wirkung auf das Auge können wir die Bahn dieser Linien sehen, gerade so wie wir den Verlauf eines Glasfadens oder eines anderen durchsichtigen Körpers wahrnehmen können, wenn er durch das Licht sichtbar gemacht ist. Und dies verstand ich unter Belichtung, wie es der Aufsatz vollends erklären wird. — 1845, Dec. 15.

M. F.

aequivalente Kräfte in ihren Wirkungen besitzen*). In neueren Zeiten sind die Beweise für ihre Umwandelbarkeit in beträchtlichem Maasse gehäuft, und es ist der Anfang gemacht zur Bestimmung ihrer aequivalenten Kräfte.[3]

2147. Diese feste Ueberzeugung, auf die Kräfte des Lichtes ausgedehnt, veranlassten mich früher zu manchen Anstrengungen, um eine directe Beziehung zwischen Licht und Elektricität, und eine Wechselwirkung derselben auf die ihrem gemeinschaftlichen Einflusse unterworfenen Körper zu entdecken**); allein die Resultate waren negativ, und wurden späterhin in dieser Beziehung von *Wartmann* bestätigt***).

2148. Diese vergeblichen Anstrengungen und viele andere, die nie veröffentlicht wurden, konnten indess meine feste, auf philosophische Betrachtungen gestützte Ueberzeugung nicht erschüttern, und deshalb nahm ich neuerdings die experimentelle Untersuchung in der eifrigsten Weise wieder vor, wobei es mir dann endlich gelang, einen Lichtstrahl zu magnetisiren und elektrisiren, so wie eine Magnetkraftlinie zu belichten.[4] Ohne in das Detail vieler erfolgloser Versuche einzugehen, will ich die Resultate so kurz und deutlich beschreiben wie ich kann.

2149. Bevor ich jedoch dazu schreite, will ich definiren, welchen Sinn ich mit gewissen Ausdrücken verbinde, die zu gebrauchen ich Gelegenheit haben werde. Unter Magnetkraftlinie oder magnetischer Kraftlinie (*line of magnetic force or magnetic line of force*) oder magnetischer Curve verstehe ich diejenige Aeusserung (exercise) der magnetischen Kraft, welche in den Linien ausgeübt wird, die insgemein magnetische Curven genannt werden, und sowohl bei Magnetpolen zu- und abwärts gehen, als bei einem elektrischen Strome concentrische Kreise bilden. Mit elektrischer Kraftlinie meine ich die Kraft, die ausgeübt wird in Linien, welche zwei nach dem Princip der elektrischen Vertheilung (*static electric induction*) auf einander wirkender Körper (1161 etc.) verbinden, und sowohl gerade als krumm sein können. Diamagnetica nenne ich Körper, welche von Magnetkraftlinien durchschnitten werden, und durch deren Wirkung nicht den gewöhnlichen magnetischen Zustand von Eisen oder Magneteisenstein (loadstone) annehmen.

---

*) Experimental-Untersuchungen, 57, 366, 376, 877, 961, 2071.

**) Phil. Transact. 1834. Experimental-Untersuchungen 951 bis 955.

***) Archives de l'Electricité, T. II, p. 596 bis 600.

2150. Licht von einer *Argand*'schen Lampe wurde durch Reflexion an einer Glasfläche in horizontaler Ebene polarisirt und dann durch ein *Nichols*'sches Prisma geleitet, welches zur leichten Untersuchung des Lichts um eine horizontale Axe drehbar war. Zwischen dem polarisirenden Spiegel und dem Nichol wurden zwei kräftige Elektromagnetpole aufgestellt, entweder die Pole eines Hufeisen-Magnets oder die entgegengesetzten Pole zweier cylindrischen Magnete. Sie standen in Richtung des Strahls etwa zwei Zoll auseinander, und zwar entweder beide auf einer Seite des polarisirten Strahls, dicht neben ihm, oder zu beiden Seiten desselben, so dass dieser zwischen ihnen hindurch ging, und ganz oder nahe die Richtung der Magnetkraftlinie hatte (2149). Sonach musste also eine zwischen die beiden Pole gebrachte durchsichtige Substanz zugleich den polarisirten Lichtstrahl und die Magnetkraftlinien in derselben Richtung durch sich hindurchlassen.

2151. Vor 16 Jahren machte ich Versuche über ein optisches Glas bekannt*), und beschrieb dabei die Darstellung und die Eigenschaften eines schweren Glases, welches, wegen seiner Bestandteile, kiesel-borsaures Bleioxyd genannt worden ist. Dieses Glas war es, welches mich zuerst auf die Entdeckung des Zusammenhanges zwischen Licht und Magnetismus führte; es übertrifft, um diesen darzuthun, bei weitem alle anderen Körper. Der Deutlichkeit wegen will ich zunächst die Erscheinungen beschreiben, wie sie sich bei diesem Glase darbieten.

2152. Ein Stück von diesem Glase, etwa 2 Zoll im Quadrat und 0,5 Zoll dick, mit ebenen und polirten Endflächen, wurde, als diamagnetische Substanz (2149), so zwischen die (noch nicht durch den elektrischen Strom magnetisirten) Pole gebracht, dass der polarisirte Strahl es der Länge nach durchlaufen musste. Das Glas wirkte wie Luft, Wasser oder irgend eine andere indifferente Substanz wirken würde, und wenn der Nichol zuvor in solche Lage gedreht worden, dass der

---

*) Philosoph. Transact. 1830, pt. I. (Ann. Bd. 18, S. 515.) — Ich kann nicht unterlassen, bei dieser Gelegenheit Hrn. *Anderson* zu erwähnen, der bei den Glas-Versuchen als Gehülfe zu mir kam, und seitdem immer im Laboratorium der Royal Institution geblieben ist. Er hat mich bei allen seitdem von mir ausgeführten Untersuchungen unterstützt, und seiner Sorgfalt, Ausdauer, Genauigkeit und Treue in Ausführung aller ihm gegebenen Aufträge habe ich viel zu danken.

polarisirte Strahl ausgelöscht, oder vielmehr das von ihm erzeugte Bild unsichtbar war, brachte die Dazwischensetzung dieses Glases in dieser Beziehung keine Aenderung hervor. Unter diesen Umständen wurde die Kraft des Elektromagnets erregt, indem man durch sein Drahtgewinde einen elektrischen Strom sandte; augenblicklich ward das Bild der Lampenflamme sichtbar, und blieb es, so lange als der Strom unterhalten ward. Als man den Strom unterbrach, also die magnetische Kraft verschwinden liess, verschwand auch das Licht augenblicks. Diese Erscheinungen konnten nach Belieben in jedem Augenblick erneut werden, und jedesmal zeigte sich eine vollkommene Abhängigkeit zwischen Ursache und Wirkung.

2153. Der bei dieser Gelegenheit angewandte *Volta*'sche Strom war mittels fünf Paare von *Grove*'scher Construction erhalten, und die Elektromagnete hatten eine solche Kraft, dass die Pole einzeln ein Gewicht von 28 bis 56 Pfund und darüber getragen haben würden. Bei einem schwachen Magnet würde Jemand zum ersten Male nicht im Stande sein diese Erscheinungen wahrzunehmen.

2154. Der Charakter der auf die diamagnetische Substanz ausgeübten Kraft ist der einer Drehung (*rotation*); denn wenn das Bild der Lampenflamme sichtbar geworden ist, wird eine mehr oder minder starke Drehung des Nichols nach der Rechten oder Linken das Bild auslöschen, und eine weitere Drehung in der einen oder anderen Richtung es wieder zum Vorschein bringen, und zwar mit complementären Farben, je nachdem rechts oder links gedreht worden.

2155. Wenn der dem Beobachter nächste Pol ein gezeichneter, d. h. das Nordende einer Magnetnadel war; und der fernste Pol ein ungezeichneter, so ging die Drehung des Strahls rechts, denn der Nichol musste rechts oder im Sinne eines Uhrzeigers (*clock fashion*) gedreht werden, um den Strahl einzuholen oder das Bild wieder in den früheren Zustand zu versetzen. Wurden die Pole umgekehrt, was durch Umkehrung der Stromesrichtung augenblicklich gethan war, so änderte sich auch die Drehung und ging nach der Linken, im Betrage gleich der früheren. Für dieselbe Magnetkraftlinie (2149) war die Richtung immer dieselbe.

2156. Wenn das Diamagneticum in verschiedene andere Lagen gegen die Magnetpole gebracht ward, waren die Resultate ihrem Betrage nach mehr oder weniger beträchtlich und sehr bestimmt im Charakter. Doch können die eben

beschriebenen Erscheinungen als das Hauptbeispiel angesehen werden.

2157. Dieselben Erscheinungen zeigten sich beim kieselborsauren Bleioxyd (2151), ohne Anwendung eines elektrischen Stroms, durch die Wirkung eines guten hufeisenförmigen Stahlmagnets. Die Resultate waren schwach, doch noch hinreichend, um in der Wirkung auf das Licht die volle Einerleiheit zwischen Elektromagneten und gewöhnlichen Magneten darzuthun.

2158. Zwei Magnete wurden endweise (*end-ways*) angewandt, d. h. die Kerne der Elektromagnete waren hohle Eisencylinder, und der polarisirte Lichtstrahl ging längs ihren Axen und durch das zwischen ihnen angebrachte Diamagneticum hinweg: der Effect war derselbe.

2159. Nun wurde bloss ein Pol angewandt, und zwar das eine Ende eines kräftigen cylindrischen Elektromagnets. Befand sich das schwere Glas dicht neben dem Magnet, und zwar jenseits desselben, zwischen ihm und dem polarisirenden Reflector, so geschah die Drehung in der einen Richtung, abhängig von der Natur des Pols. Befand sich dagegen das Diamagneticum dicht neben dem Pol, zwischen ihm und dem Auge, so hatte die Drehung, für denselben Pol, entgegengesetzte Richtung. Wurde der Magnetpol vertauscht, so änderten sich auch diese beiden Richtungen. Wurde dem schweren Glase über oder unter dem Pol eine entsprechende Lage gegeben, so dass die magnetischen Curven das Glas nicht mehr parallel mit dem polarisirten Lichtstrahl durchschnitten, sondern senkrecht auf diesem waren, so erfolgte keine Wirkung. Fig. 7 mag diese Fälle erläutern; *a* und *b* stellen darin die ersteren Lagen des Diamagneticums dar, *c* und *d* die letzteren; die getüpfelte Linie bezeichnet die Bahn des Strahls. Auch wenn das Glas direct an das Ende des Magnets gebracht ward, fand auf einen Strahl, der in der eben beschriebenen Richtung verlief, keine Wirkung statt, wiewohl aus dem (2155) Gesagten einleuchtend ist, dass ein parallel den Magnetlinien durch das Glas gehender Strahl afficirt worden wäre.

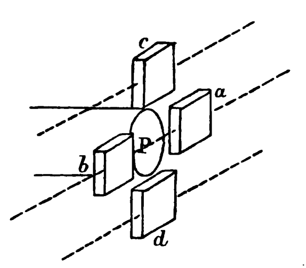


Fig. 7.

2160. Magnetlinien also veranlassen kiesel-borsaures Blei und eine grosse Anzahl anderer Substanzen auf einen polarisirten Lichtstrahl zu wirken, wenn sie durch die Substanzen gehen und dem Strahle parallel sind, oder im Verhältniss als sie ihm parallel sind. Dagegen findet keine Wirkung statt, wenn die Magnetlinien winkelrecht auf dem Strahle sind. Sie geben dem Diamagneticum das Vermögen, den Strahl zu drehen, und das Gesetz dieser Wirkung auf das Licht ist: dass eine Magnetkraftlinie, wenn sie längs einem auf den Beobachter gerichteten Strahle von einem Nordpol fortgeht (*going from*) oder von einem Südpol kommt (*coming from*) den Strahl nach der Rechten dreht, dagegen eine Drehung des Strahles nach der Linken bewirkt, wenn sie von einem Nordpol kommt oder von einem Südpol fortgeht.

2161. Wird ein Pfropfen oder Glascylinder, welcher das Diamagneticum vorstellen mag, an den Enden mit den Buchstaben *N* und *S* bezeichnet, um die Pole eines Magnetes anzudeuten, Fig. 8, so kann die diese Buchstaben verbindende Linie als die Magnetkraftlinie betrachtet werden; und zieht man dann um den Cylinder eine Linie, versehen mit Pfeilspitzen in der in der Figur angegebenen Richtung, so hat man ein einfaches Modell, welches das ganze Gesetz und die daraus fliessenden Folgerungen veranschaulicht. Wäre eine Taschenuhr das Diamagneticum, stände der Nordpol eines Magnets vor dem Zifferblatt und der Südpol hinter der Rückseite, so würde die Bewegung der Zeiger die Richtung andeuten, in welcher ein Lichtstrahl bei Magnetisirung gedreht wird.

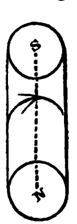


Fig. 8.

2162. Ich will nun übergehen zu den verschiedenen Umständen, welche den Bereich und die Natur dieser neuen auf das Licht wirkenden Kraft afficiren, limitiren und definiren.

2163. Zunächst, scheint es, steht die Drehung im Verhältniss zu der Länge des Diamagneticums, durch welches der Strahl und die Magnetlinien gehen. Ich liess die Stärke des Magnets und den gegenseitigen Abstand seiner Pole unverändert, und brachte zwischen diese verschiedene Stücke derselben schweren Glassorte (2151). Je grösser die Erstreckung des Diamagneticums in Richtung des Strahles war, mochten es ein, zwei oder drei Stücke sein, desto grösser war die Drehung des Strahles, und so weit sich aus diesen ersten Versuchen beurtheilen liess, war der Betrag der Drehung genau proportional der vom Strahle durchlaufenen Strecke des Dia-

magneticums. Keine Hinzufügung oder Fortnahme des schweren Glases zur Seite des Strahls machte irgend einen Unterschied in der Wirkung desjenigen Theils, welchen der Strahl durchlaufen hatte.

2164. Die Drehung des Lichtstrahls wächst mit der Stärke der Magnetkraftlinien. Diess lässt sich bei Anwendung von Elektromagneten leicht nachweisen; und innerhalb des von mir angewandten Kraftbereichs scheint die Drehung direct der Intensität der Magnetkraft proportional zu sein.

2165. Ausser dem schweren Glase besitzen andere Körper ebenfalls das Vermögen, unter dem Einfluss der magnetischen Kraft, auf das Licht wirksam zu werden (2173). Wenn diese Körper schon an sich ein Drehvermögen besitzen, wie z. B. Terpenthinöl, Zucker, Weinsäure, weinsaure Salze u. s. w., so ist der Effect der magnetischen Kraft zu dem ihrer eigenen Kraft zu addiren oder von ihm zu subtrahieren, je nachdem die natürliche Drehung und die durch den Magnetismus erregte rechts oder links gewandt ist (2231).

2166. Ich konnte nicht wahrnehmen, dass diess Vermögen verändert worden wäre durch irgend einen Grad von Bewegung, welchen ich dem Diamagneticum, während es den gemeinschaftlichen Einfluss des Lichts und des Magnetismus erlitt, mitzutheilen vermochte.

2167. Die Einschaltung von Kupfer, Blei, Zinn, Silber und anderen für gewöhnlich nicht magnetischen Körpern in die Bahn der magnetischen Curven, entweder zwischen dem Pol und dem Diamagneticum oder in anderen Lagen, hatte weder in der Art noch in dem Grade irgend eine Wirkung auf die Phänomene.

2168. Eisen afficirte häufig die Resultate in sehr beträchtlichem Grade; allein immer, wie es schien, vermöge einer Aenderung in Richtung der Magnetlinien oder vermöge einer Disposition seiner selbst zu deren Kraft. Wenn z. B. die beiden entgegengesetzten Pole an der einen Seite des polarisirten Strahls befindlich waren (2150) und das schwere Glas in der besten Lage zwischen ihnen und dem Strahl sich befand (2152), und man näherte dem Glase von der anderen Seite her ein grosses Stück Eisen, so bewirkte es eine Schwächung der Kraft des Diamagneticums. Dies geschah, weil gewisse Magnetkraftlinien, welche anfangs parallel mit dem Strahl durch das Glas gingen, nun das Glas und den Strahl durchkreuzten; das Eisen erhielt zwei den Magnetpolen entgegengesetzte Pole, und

erregte somit eine neue Bahn für eine gewisse Portion der Magnetkraft, und diese durchkreuzte den polarisirten Strahl.

2169. Wird das Eisen dem Glase, statt an der abgewandten Seite, auf Seite des Magnets genähert, entweder diesem nahe oder ihn berührend, so nimmt die Kraft des Diamagnetismus ebenfalls ab, einfach weil die Kraft des Magnets vom Glase ab, in eine neue Richtung gelenkt ist. Diese Effecte sind natürlich sehr abhängig von der Stärke des Magnets, so wie von der Grösse und der Weiche des Eisens.

2170. Schraubendrähte (2190) ohne Eisenkerne waren von sehr schwacher, kaum merkbarer Wirkung; mit Eisenkernen wirkten sie sehr kräftig, obwohl nicht mehr Elektricität durch sie strömte als zuvor (1071). Diess zeigt in sehr einfacher Weise, dass die unter diesen Umständen auftretenden Lichterscheinungen direct mit der vom Apparat gelieferten magnetischen Kraftform zusammenhängen. Dasselbe ergiebt sich auch aus einem anderen Vorgang. Wenn die Volta'sche Batterie geschlossen, also ein Strom um den Elektromagnet gesandt wird, hat das durch die Drehung des polarisirten Strahles entstandene Bild nicht sogleich seinen vollen Betrag, sondern erlangt diesen erst allmählich nach einigen Secunden: bei Oeffnung der Batterie verschwindet es dagegen anscheinend auf ein Mal. Die allmähliche Zunahme an Helligkeit rührt davon her, dass der Eisenkern Zeit gebraucht, um alle magnetische Kraft zu entfalten, welche der elektrische Strom in ihm zu erregen sucht; so wie der Magnetismus an Stärke zunimmt, wächst auch die Wirkung auf das Licht; daher denn die fortschreitende Drehung.

2171. Bisher habe ich nicht finden können, dass das schwere Glas (2151), wenn es in diesem Zustande ist, d. h. von Magnetkraftlinien durchschnitten wird, eine specifische magneto-inductive Action der erkannten Art besitze oder einen erhöhten Grad derselben äussere. Ich habe es in grossen Quantitäten und in verschiedenen Lagen zwischen Magnete und Magnetnadeln gebracht, konnte aber, obwohl ich sehr empfindliche Mittel dazu hatte, keinen Unterschied zwischen Glas und Luft auffinden. [5])

2172. Wasser, Alkohol, Quecksilber und andere Flüssigkeiten in sehr grossen empfindlichen thermometerförmigen Gefässen anwendend, habe ich nicht finden können, dass ein Volumunterschied eintrat, wenn magnetische Curven durch sie gingen.

---

2173. Es ist Zeit, dass ich diese Kraft des Magnetismus auf das Licht als nicht bloss dem kieselborsauren Bleioxyd (2151), sondern als vielen anderen Substanzen angehörig in Betracht ziehe. Hier gewahren wir zuvörderst, dass wenn auch alle durchsichtigen Körper diese Kraft äussern, sie es doch in sehr verschiedenem Grade thun, ja dass es bis jetzt noch einige giebt, welche sie gar nicht zeigen.

2174. Dann macht sich bemerklich, dass Körper von ungemeiner Verschiedenheit in chemischen, physischen und mechanischen Eigenschaften diese Kraft besitzen, denn sie findet sich bei starren und flüssigen Körpern, bei Säuren, Alkalien, Oelen, Wasser, Alkohol, Aether u. s. w.

2175. Und zuletzt können wir bemerken, dass in allen die Kraft, wenn auch dem Grade nach verschieden, doch der Art nach immer dieselbe, eine den Lichtstrahl drehende ist, und dass überdies die Richtung der Drehung immer von der Natur und dem Zustand der Substanz unabhängig ist, nur abhängt von der Richtung der Magnetkraftlinien gemäss dem zuvor (2160) angegebenen Gesetz.

2176. Unter den Substanzen, bei welchen diese Wirkung angetroffen wird, habe ich schon das kieselborsaure Bleioxyd (2152) als eine sehr vorzügliche hervorgehoben. Ich bedaure, dass sie die beste ist, da sie wahrscheinlich nicht Vielen zu Gebote steht, und Wenige wohl die Mühe ihrer Darstellung übernehmen werden. Es muss wohl abgekühlt sein, denn sonst depolarisirt es das Licht in bedeutendem Maasse, und dann sind die in Rede stehenden Erscheinungen viel weniger auffallend zu beobachten. Das borsaure Blei, eine viel schmelzbarere, schon bei Siedhitze des Oels erweichende Substanz, die sich leicht in Plattenform und ausgekühlt erhalten lässt, besitzt indess ein eben so starkes Drehvermögen als das kieselborsaure. Flintglas zeigt die Eigenschaft auch, doch in geringerem Grade als die obigen Substanzen, Kronglas in noch schwächerem Maasse.

2177. Wenn ich krystallisirte Körper als Diamagnetica anwandte, gab ich ihnen insgemein die Lage, in welcher sie den polarisirten Strahl nicht afficirten, und inducirte dann magnetische Curven durch sie hin. Im Allgemeinen schienen sie der Annahme eines Drehvermögens (*rotating state*) zu widerstehen. Steinsalz und Flussspath gaben schwache Anzeigen von diesem Vermögen, und, wie ich glaube, that ein Alaunkrystall dasselbe; doch die Strecke des Strahls in seinem durchsichtigen

Theil war so kurz, dass ich die Thatsache nicht entschieden ausmitteln konnte. Zwei Exemplare von durchsichtigem Flussspath (*Fluor*), die mir Hr. Tennant geliehen, gaben eine Wirkung.

2178. Bergkrystall, vier Zoll lang, gab keine Anzeige von Wirkung auf den Strahl; eben so wenig thaten es kleinere Krystalle, oder Würfel von drei Viertelzoll in Seite, die so geschnitten waren, dass zwei ihrer Flächen winkelrecht gegen die Krystallaxe lagen (1692, 1693), obwohl sie in jeder Richtung untersucht wurden.

2179. Kalkspath äusserte keine Zeichen von Wirkung, weder als Rhomboëder, noch als Würfel von der eben beschriebenen Art (1695).

2180. Schwefelsaurer Baryt, schwefelsaurer Kalk und kohlensaures Natron waren ebenfalls ohne Wirkung auf das Licht.

2181. Ein Stück schönes klares Eis gab mir keine Wirkung. Ich kann jedoch nicht sagen, dass keine vorhanden war, denn die Wirkung von Wasser in gleicher Masse würde sehr klein sein, und die Unregelmässigkeit der durch das Schmelzen des Eises und das Abträufeln des Wassers abgerundeten (*flattened*) Oberfläche machte die Beobachtung sehr schwierig.

2182. Mit einer grossen Neugierde und Hoffnung brachte ich Blattgold in die magnetischen Linien, konnte aber keine Wirkung wahrnehmen. Erwägt man indess die ungemein geringe Länge der Bahn des polarisirten Strahls in demselben, so war schwerlich ein positives Resultat zu erwarten.

2183. Bei Versuchen mit Flüssigkeiten besteht eine sehr gute Beobachtungsmethode darin, dass man sie in Flaschen von $1\frac{1}{2}$ bis 3 oder 4 Zoll Durchmesser giesst, eine solche zwischen die Magnetpole bringt (2150) und den Nichol der Flasche so weit nähert, dass letztere, nach gehöriger Einstellung, vermöge ihrer cylindrischen Gestalt ein diffuses, aber brauchbares Bild von der durch sie hin gesehenen Lampenflamme giebt. Das Licht dieses Bildes lässt sich von dem, welches durch die Streifen und Missgestaltungen des Glases unregelmässig gebrochen wird, leicht unterscheiden, und man sieht die darin auftretenden Erscheinungen ebenfalls mit Leichtigkeit.

2184. Wasser, Alkohol und Aether zeigen die Erscheinung, Wasser am meisten, Alkohol schwächer und Aether am schwächsten. Alle fetten Oele, welche ich versucht, namentlich Mandel-, Ricinus-, Oliven-, Mohn-, Leinöl, Elain von Schweineschmalz und destillirtes Harzöl gaben Wirkung; eben so ätherische Oele,

wie Terpenthin-, Bittermandel-, Spica-, Lavendel-, Jasmin-, Nelken-, Lorbeeröl; auch Naphtha verschiedener Art, geschmolzener Wallrath, geschmolzener Schwefel, Chlorschwefel, Chlorarsen, und jede andere flüssige Substanz, die ich zur Hand hatte, und in hinreichender Menge verwenden konnte.

2185. Von wässrigen Lösungen versuchte ich mehr als 150, namentlich lösliche Säuren, Alkalien, Salze, so wie Zucker, Gummi u. s. w. Die Liste derselben hier zu geben, würde zu lang sein, da das Hauptergebniss war, dass, trotz der ungemeinen Verschiedenheit der Substanzen, dennoch keine eine Ausnahme von dem allgemeinen Resultate machte, sie vielmehr alle die neue Eigenschaft zeigten. In der That ist es mehr als wahrscheinlich, dass in allen diesen Fällen das Wasser, und nicht die darin gelöste Substanz das Wirkende (*ruling matter*) war. Dasselbe allgemeine Resultat wurde mit alkoholischen Flüssigkeiten erhalten.

2186. Von Flüssigkeiten zu Luft und gasförmigen Körpern übergehend, habe ich anzugeben, dass ich bis jetzt noch nicht im Stande gewesen bin, in irgend einer Substanz aus dieser Klasse eine Aeusserung des Drehvermögens aufzufinden. In Flaschen von 4 Zoll Durchmesser habe ich mit folgenden Gasen Versuche angestellt: Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff, Stickstoffoxyd, ölbildendem Gas, schwefliger Säure, Salzsäure, Kohlensäure, Kohlenoxyd, Ammoniak, Schwefelwasserstoff und Bromdampf bei gewöhnlicher Temperatur. Alle gaben aber negative Resultate. Mit Luft wurde der Versuch mittelst einer anderen Form des Apparats noch sorgfältiger wiederholt, aber eben so erfolglos (2212).[6]

2187. Ehe ich die Betrachtung der Substanzen, welche das Drehvermögen zeigen, verlasse, will ich noch erwähnen, dass ich von denen, welchen es zu ihrem natürlichen Drehvermögen (2165, 2231) noch hinzugefügt (*superinduced*) werden kann, folgende untersucht habe: Ricinusöl, Harzöl, Spicaöl, Lorbeeröl, Canadabalsam, alkoholische Lösung von Kampher und Aetzsublimat, wässrige Lösung von Zucker, Weinsäure, weinsaurem Natron, Brechweinstein, Wein- und Borsäure und schwefelsaurem Nickeloxyd, welches rechts dreht, Copaivabalsam, welcher links dreht, zwei Proben von Kamphin oder Terpenthinöl, von welchen die eine rechts und die andere links drehte. In allen diesen Fällen befolgte, wie schon (2165) gesagt, das hinzugefügte magnetische Drehvermögen das allgemeine Gesetz (2160), ohne Bezug auf das schon vorhandene Drehvermögen.

2188. Kampher geschmolzen in einer Röhre von etwa einem Zoll Durchmesser, zeigt von Natur ein starkes Drehvermögen; allein ich konnte nicht finden, dass die magnetischen Curven eine Kraft hinzufügten. Möglich, indess, dass die Kürze des Strahls und die Menge des farbigen Lichtes, welches zurückblieb, selbst wenn der Nichol in die günstigste Lage zur Verdunklung des durch das natürliche Drehvermögen entstandenen Bildes gebracht worden war, die schwache Magnetkraft des Kamphers unmerklich machten.

### 2. Wirkung elektrischer Ströme auf Licht.

2189. Aus der Betrachtung der Natur und Lage der Linien magnetischer und elektrischer Kraft, so wie der Relation eines Magnets zu einem elektrischen Strom schien es fast gewiss, dass ein elektrischer Strom dieselbe Wirkung wie ein Magnet auf das Licht haben würde, und in Gestalt eines Schraubendrahtes am geeignetsten sein müsste, grosse Längen von Diamagneticis, besonders von solchen, die zwischen Magnetpolen nur wenig afficirt zu werden schienen, einer Untersuchung zu unterwerfen und zur gesteigerten Wirkung zu bringen. Die Erfahrung verwirklichte diese Erwartung.

2190. Kupferne Drahtgewinde (*helices*) wurden angewandt, von denen ich drei beschreiben will. Das erste oder *lange* hielt 0,4 Zoll im inneren Durchmesser, der Draht war 0,03 Zoll dick, und ging um die Axe der Rolle von einem Ende zum anderen, kehrte dann in derselben Weise zurück und bildete so ein Gewinde von 65 Zoll Länge, doppelt in seiner ganzen Ausdehnung und 1240 Fuss Draht enthaltend.

2191. Die zweite oder mittlere Rolle ist 19 Zoll lang, von 1,87 Zoll innerem und 3 Zoll äusserem Durchmesser. Der Draht war 0,2 Zoll dick und 80 Fuss lang, und zu zwei concentrischen Gewinden angeordnet. Der elektrische Strom durchlief diese nicht zertheilt, sondern der ganzen Länge des Drahtes nach.

2192. Die dritte oder Woolwich-Rolle war nach meiner Anweisung für Hrn. Obristlieutnant *Sabine's* Anstalt in Woolwich angefertigt worden. Sie ist 26,5 Zoll lang, hält innen 2,5 Zoll und aussen 4,75 Zoll im Durchmesser, und ihr Draht ist 0,17 Zoll dick und 501 Fuss lang. Sie enthält vier concentrische Gewinde, die endweise verbunden sind, so dass der angewandte elektrische Strom den gesammten Draht durchläuft.

2193. Das lange Drahtgewinde (2190) wirkte auf eine in geringem Abstand aufgestellte Magnetnadel sehr schwach, das mittlere (2191) wirkte stärker, und die Woolwich-Rolle (2192) sehr stark, dabei wurde immer dieselbe Batterie von zehn Grove'schen Paaren angewandt.

2194. Starre Körper liessen sich leicht der Wirkung dieser Drahtgewinde aussetzen, indem man sie nur zu Stäben oder Prismen mit ebenen und polirten Enden zu formen, und dann als Kerne in die Rollen zu stecken brauchte. Um Flüssigkeiten ihrer Wirkung zu unterwerfen, wurden Glasröhren mit Kappen an den Enden angeschafft. Der cylindrische Theil der Kappe war von Messing und hatte eine Tubulatur zur Einfüllung der Flüssigkeit. Das Ende bestand aus einer ebenen Glasplatte. Wenn die Röhre wässrige Flüssigkeiten aufnehmen sollte, waren die Platten an die Kappen und die Kappen an die Röhren mit Canadabalsam angekittet; sollte die Röhre aber Alkohol, Aether oder ätherische Oele aufnehmen, so diente eine dicke Mischung von gepulvertem Gummi und ein wenig Wasser als Kitt.

2195. Das mit diesem Apparat erhaltene Resultat war im Allgemeinen folgendes: — Die Röhre in dem langen Gewinde (2190) wurde mit destillirtem Wasser gefüllt und in Richtung des polarisirten Strahls gebracht, so dass das vom polarisirten Strahl erzeugte Bild der Lampenflamme durch die Röhre gesehen und mit dem Nichol (2150) untersucht werden konnte. Dann wurde der Nichol gedreht, bis das Bild der Flamme verschwand, und nun sandte man den Strom der zehn Plattenpaare durch das Gewinde. Augenblicklich erschien das Bild der Flamme wieder und blieb sichtbar, so lange der Strom das Gewinde durchlief; bei Unterbrechung des Stroms verschwand das Bild. Das Licht erschien nicht allmählich wie bei den Elektromagneten (2170), sondern plötzlich. Diese Resultate konnten nach Belieben hervorgebracht werden. Bei diesem Versuch, glaube ich, können wir mit Recht sagen, dass ein Lichtstrahl elektrisirt und die elektrische Kraft (*forces*) belichtet worden ist.

2196. Die Erscheinungen lassen sich noch auffallender machen, wenn man eine Linse von langer Brennweite zwischen der Röhre und dem Polarisationsspiegel, oder eine von kurzer Brennweite zwischen der Röhre und dem Auge anbringt. Wenn das Drahtgewinde oder die Batterie oder die zu untersuchende Substanz von geringer Wirkung sind, leistet diess Hülfsmittel gute Dienste, doch kann man es bei einiger Uebung leicht entbehren, und braucht es nur in zweifelhaften Fällen.

2197. Wenn die Erscheinung schwach ist, wird sie leichter wahrnehmbar, wenn man das Nichol'sche Prisma nicht auf den Punkt der völligen Auslöschung des Strahls einstellt, sondern ein wenig diess- oder jenseits desselben, so dass das Bild der Flamme noch eben sichtbar ist. Dann wird bei Wirkung des elektrischen Stroms das Licht entweder verstärkt, oder geschwächt, oder ausgelöscht oder auch an der anderen Seite der Dunkelheitslage wieder angefacht; und diese Veränderung ist leichter wahrnehmbar, als wenn das Auge vom Zustande einer gänzlichen Dunkelheit aus zu beobachten anfängt. Durch diese Beobachtungsmethode lässt sich auch das Drehende in der Wirkung auf das Licht leicht nachweisen; denn wenn man das Licht zuvor durch Drehung des Nichols nach der einen Richtung sichtbar gemacht hat, und die Wirkung des Stroms verstärkt es nun, so braucht man nur, nach Unterbrechung des Stromes, den Nichol in entgegengesetzter Richtung so weit zu drehen, bis das Licht so hell wie zuerst ist, und der Strom wird es nun schwächen. Zugleich werden auch die Farben des Lichts afficirt.

2198. Wird die Richtung des Stromes im Drahtgewinde umgekehrt, kehrt sich auch die Drehung des Lichtstrahles um. Um die Richtung dieser Drehung zu bezeichnen, will ich annehmen, wie es gewöhnlich geschieht, dass der Strom einer Zelle vom Zink durch die Säure zum Platin geht (663, 667, 1627). Geht nun ein solcher Strom unter dem Strahl nach der Rechten, an dieser rechten Seite aufwärts, und oben nach der Linken, so giebt er dem Strahl eine links gewendete Drehung; geht aber der Strom über dem Strahl rechts, an der Rechten herab, und unten links, so prägt er ihm eine rechts gewendete Drehung ein.

2199. Das Gesetz, nach welchem ein elektrischer Strom auf einen Lichtstrahl wirkt, ist also leicht ausgedrückt. Wird ein polarisirter Lichtstrahl in einer auf seiner Richtung winkelrechten Ebene von einem elektrischen Strom umkreist, so erfolgt eine Drehung des Strahls um seine Axe in gleicher Richtung mit der Richtung des Stroms, und zwar so lange als dieser seinen Einfluss ausübt.

2200. Die Einfachheit dieses Gesetzes und seine Identität mit dem zuvor (2160) für die Wirkung des Magnetismus auf das Licht gegebenen ist sehr schön. Ein Modell ist nicht erforderlich, um dem Gedächtniss zu Hülfe zu kommen; wenn man aber das früher (2161) beschriebene ansieht, wird die

Linie rings um dasselbe zugleich die Richtung des Stroms und der Drehung ausdrücken. Es leistet indessen mehr. Denn wenn man den Cylinder nicht als von Glas oder einem anderen zwischen die Pole $N$ und $S$ gestellten Diamagneticum, sondern als von Eisen betrachtet, so wird die Linie um denselben die Richtung der Ströme vorstellen, welche nach *Ampère*'s Theorie, die Theilchen des Eisens umkreisen; oder betrachtet man ihn als einen Eisenkern (statt eines Wasserkerns), der von einem in Richtung der Linie laufenden Strom umgeben wird, so stellt er auch einen Magnet vor, der sich bilden würde, wenn er zwischen die Pole gestellt wäre, deren Marken an den Enden angebracht sind.

2201. Ich will nun Einiges über den Grad der Wirkung unter verschiedenen Umständen angeben. Als ich eine Röhre voll Wasser (2194) von gleicher Länge mit der Drahtrolle anwandte, sie aber so stellte, dass sie mit einem Ende mehr oder weniger aus der Rolle hervorragte, konnte ich bis zu einem gewissen Grade den Einfluss der Länge des Diamagneticums ermitteln, wenn ich die Kraft der Drahtrolle und des Stroms ungeändert liess. Je länger die der Wirkung des Drahtgewindes ausgesetzte Wassersäule war, um so stärker war auch die Drehung des polarisirten Strahls, und der Betrag der Drehung schien direkt proportional der Länge der Flüssigkeit, welche vom elektrischen Strom umkreist ward.

2202. Eine kurze Röhre mit Wasser oder ein (kurzes) Stück schweren Glases, in die Axe der Woolwich-Rolle (2192) gebracht, schien gleiche Wirkung auf den polarisirten Strahl auszuüben, sie mochten in der Mitte der Rolle oder an deren Enden liegen, sobald sie nur innerhalb der Rolle und in deren Axe lagen. Hieraus erhellt, dass jeder Theil des Drahtgewindes eine gleiche Wirkung ausübt, und dass durch Anwendung langer Drahtrollen Substanzen dieser Art untersucht werden können, die sich nicht in hinreichender Länge zwischen die Pole von Magneten (2150) bringen lassen.

2203. Eine Röhre voll Wasser von gleicher Länge wie die Woolwich-Rolle (2192) aber 0,4 Zoll im Durchmesser enthaltend, wurde in diese Rolle gebracht, manchmal in deren Axe, manchmal an deren Seiten. Die verschiedenen Lagen machten anscheinend keinen Unterschied; und ich bin daher zu glauben geneigt (ohne dessen ganz sicher zu sein), dass die Wirkung auf den Strahl dieselbe ist, wo auch die Röhre innerhalb der Rolle gegen die Axe liegen mag. Dasselbe Resultat erhält

man beim Sehen durch eine weite Röhre mit Wasser, der Strahl mag durch die Axe der Rolle und Röhre oder zur Seite derselben gehen.

2204. Bringt man Körper in die Rolle, welche schon von Natur ein Drehvermögen besitzen, so wird ihnen das vom elektrischen Strom erregte Drehvermögen hinzugefügt (*superinduced*), genau wie es schon bei der magnetischen Wirkung beschrieben worden ist (2165, 2187).

2205. Aus 0,05 Zoll dickem, unbesponnenem Kupferdraht wurde in dichten Windungen eine 20 Zoll lange und 0,3 Zoll weite Rolle gebildet, und dieselbe in eine weite Röhre mit Wasser gelegt, so dass die Flüssigkeit sowohl innerhalb als ausserhalb der Rolle durch den polarisirten Strahl untersucht werden konnte. Als der Strom durch den Schraubendraht gesandt wurde, empfing das Wasser innerhalb desselben ein Drehvermögen, aber ausserhalb desselben war keine Spur davon zu sehen, selbst in grösster Nähe an dem nackten Draht.

2206. Das Wasser ward in messingene und in kupferne Röhren eingeschlossen, aber diese Aenderung änderte nichts an dem Effect.

2207. Die Messingröhre voll Wasser wurde in eine eiserne Röhre gesteckt, die länger als die Woolwich-Rolle und als die Messingröhre war, und voll einen Achtelzoll Wanddicke hatte. Dennoch drehte das Wasser, als es in die Woolwich-Rolle (2192) gebracht wurde, den Lichtstrahl scheinbar so gut wie zuvor.

2208. Ein Eisenstab, einen Zoll im Quadrat und länger als die Rolle, wurde in diese gebracht und die kleine Wasserröhre (2203) auf den Eisenstab gelegt. Das Wasser hatte eben so viel Wirkung auf das Licht wie zuvor.

2209. Drei Eisenröhren, jede von 27 Zoll Länge und einem Achtelzoll Wanddicke, hatten solche Durchmesser, dass man sie leicht in einander, und das Ganze in die Woolwich-Rolle (2192) stecken konnte. Die engste wurde mit Glasenden versehen und mit Wasser gefüllt. Dann in die Axe der Woolwich-Rolle gebracht, übte sie ein gewisses Drehvermögen auf den polarisirten Strahl aus. Nun wurde die zweite Röhre darüber geschoben, so dass sich zwischen dem Wasser und der Drahtrolle eine Eisendicke von zwei Achtelzoll befand. Jetzt hatte das Wasser ein stärkeres Drehvermögen. Endlich ward die dritte Röhre über die beiden andern geschoben. Nun war das Vermögen schwächer, obwohl noch sehr bedeutend. Diese

Resultate sind complicirt, denn sie hängen von dem neuen Zustande ab, in welchem das Eisen seine Wirkung auf die Kräfte ausübt.[7]) Bis zu einem gewissen Betrage brachten, bei verstärkter Entwicklung der magnetischen Kräfte, die Rolle und der Kern, als Ganzes, eine erhöhte Wirkung auf das Wasser hervor; allein bei Zusatz von mehr Eisen und Erregung von Kräften in ihm, wurde deren Wirkung zum Theil dem Wasser entzogen und die Drehung geschwächt.

2210. Stücke vom schweren Glase (2151) in die Eisenröhren und somit in die Drahtrollen gelegt, wirkten ähnlich.

2211. Die Körper, welche in angegebener Weise innerhalb einer Drahtrolle der Wirkung eines elektrischen Stroms ausgesetzt wurden, waren folgende: — Schweres Glas (2151, 2176), Wasser, Lösung von schwefelsaurem Natron, Lösung von Weinsäure, Alkohol, Aether, Terpenthinöl. Alle wurden afficirt, und wirkten auf das Licht genau so wie es bei der magnetischen Wirkung beschrieben ward (2173).

2212. Ich unterwarf Luft dem Einfluss dieser Drahtrollen mit grosser Sorgfalt, konnte aber keine Spur von Wirkung auf den polarisirten Lichtstrahl entdecken. Ich steckte die lange Rolle (2190) in die beiden anderen (2191, 2192) und verknüpfte sie alle zu Einem Draht, um die Kraft zu verstärken, konnte aber keine Wirkung auf das durch die Luft gehende Licht wahrnehmen.

2213. Bei Anwendung von Drahtrollen hat man auf einen Umstand zu achten, der leicht Verwirrung und Störung anrichten kann. Zunächst war der Draht der langen Rolle (2190) unmittelbar auf eine dünne Glasröhre gewickelt, welche zur Aufnahme der Flüssigkeit diente. Wenn der Strom durch die Drahtrolle ging, steigerte er ihre Temperatur, und damit auch die Temperatur des Glases und der anliegenden Wasserschicht. Der Wassercylinder, somit wärmer an seiner Oberfläche als in seiner Axe wirkte als eine Linse, sammelte Lichtstrahlen und sandte sie in's Auge, noch eine Zeit lang nachdem der Strom unterbrochen war. Durch Trennung der Wasserröhre von der Drahtrolle und durch andere Vorsichtsmaassregeln entfernt man leicht diese Fehlerquelle.

2214. Ein anderer Punkt, auf den der Experimentator zu achten hat, ist die Schwierigkeit, ja fast Unmöglichkeit, ein Glasstück zu erhalten, welches nicht, besonders nachdem es zerschnitten worden, das Licht depolarisirte. Thut es dieses, so bringt eine Verschiedenheit in der Lage einen ungeheuren

**Unterschied in der Erscheinung hervor. Diese Schwierigkeit wird mehr oder weniger leicht beseitigt, wenn man immer die nicht depolarisirenden Theile, also das schwarze Kreuz anwendet und das Auge dem Glase möglichst nahe bringt.**

---

2215. Um von dem Betrage des einigen Körpern eingeprägten Drehvermögens eine angenäherte Angabe zu liefern, doch ohne allen Anspruch auf Genauigkeit der Zahlen, will ich die Resultate einiger wenigen Versuche zur Messung der Kraft mittheilen, und sie mit dem natürlichen Drehvermögen einer Sorte von Terpenthinöl vergleichen. Es wurde ein kräftiger Elektromagnet angewandt, dessen Pole beständig 2,5 Zoll auseinanderstanden. In diesen Zwischenraum brachte ich verschiedene Substanzen, beobachtete mehrmals den Betrag der Drehung des Nichols und nahm das Mittel daraus, als Ausdruck der Drehung für die Länge des Strahles in der angewandten Substanz. Da indess diese Substanzen von verschiedenen Dimensionen waren, so reducirte ich durch Rechnung die Strahlenlänge auf eine Normallänge, gemäss der Annahme, dass die Kraft proportional sei dieser Länge (2163). Das Terpenthinöl wurde in seinem natürlichen Zustand, d. h. ohne magnetische Wirkung, beobachtet. Das Wasser gleich Eins gesetzt, waren die Zahlen folgende:

| | |
|---|---|
| Terpenthinöl | 11,8 |
| Schweres Glas | 6,0 |
| Flintglas | 2,8 |
| Steinsalz | 2,2 |
| Wasser | 1,0 |
| Alkohol | kleiner als beim Wasser |
| Aether | kleiner als beim Alkohol. |

---

2216. Hinsichtlich der Wirkung magnetischer und elektrischer Kräfte auf das Licht glaube ich, dass die Kenntniss der Umstände, unter welchen keine sichtbare Wirkung stattfindet, unsere Kenntniss von ihren gegenseitigen Beziehungen erweitert, und deshalb will ich kurz angeben, wie ich neulich diese Kräfte combinirt habe, ohne ein wahrnehmbares Resultat (955) zu erlangen.

2217. Durch schweres Glas, Flintglas, Bergkrystall, Kalkspath, Terpenthinöl und Luft ward successiv ein polarisirter Strahl geleitet, und zugleich leitete ich Linien elektrostatischer Spannung (2149), mittelst Belegungen der Leidner Flasche und der Elektrisirmaschine, durch diese Körper, parallel dem Strahl und winkelrecht auf ihn, sowohl in als rechtwinklig auf der Polarisationsebene; jedoch ohne sichtbaren Erfolg. Auch die Spannung eines rasch wiederkehrenden, inducirten secundären Stromes ward auf dieselben Körper und auf Wasser (als Elektrolyt) gerichtet, doch mit gleichem negativen Resultat.

2218. Ein polarisirter Strahl, kräftige Linien magnetischer Kraft und die eben (2149) beschriebenen Linien elektrischer Kraft wurden in ihrer Wirkung auf schweres Glas (2151, 2176) in verschiedenen Richtungen combinirt, jedoch mit keinem anderen Resultat, als aus der schon in diesem Aufsatz beschriebenen gegenseitigen Wirkung der magnetischen Linien und des Lichtes hervorgeht.

2219. Ein polarisirter Strahl und elektrische Ströme wurden in Elektrolyten (951, 954) auf jede mögliche Weise mit einander combinirt. Die angewandten Substanzen waren, bei Anwendung von Platin-Elektroden: destillirtes Wasser, Zuckerlösung, verdünnte Schwefelsäure, Lösung von schwefelsaurem Natron, und, bei Anwendung von Kupferelektroden, Lösung von schwefelsaurem Kupfer. Der Strom ging längs dem Strahle oder quer darauf, in zwei auf einander rechtwinkligen Richtungen; der Strahl ward gedreht, indem man die Lage des Polarisationsspiegels und hiermit die der Polarisationsebene änderte; der Strom ward als ein stetiger, oder als ein rasch aussetzender oder endlich als ein rasch hin- und hergehender angewandt. Aber in allen diesen Fällen war keine Spur von Wirkung wahrnehmbar.

2220. Endlich wurden ein polarisirter Lichtstrahl, elektrische Ströme und Magnetkraftlinien in jeder möglichen Weise durch verdünnte Schwefelsäure und Glaubersalzlösung gesandt, aber die Resultate waren auch jetzt negativ, ausgenommen in den Lagen, wo die schon beschriebenen Erscheinungen entstanden. Bei einer Vorrichtung ging der Strom radienartig von einer centralen zu einer circumferentialen Elektrode, während entgegengesetzte Magnetpole darüber und darunter angebracht waren; die Vorrichtung war so gut, dass wenn der Strom durchging, die Flüssigkeit rasch rotirte; allein ein in horizontaler Richtung quer durch diese Vorrichtung gesandter polarisirter

Lichtstrahl wurde ganz und gar nicht afficirt. Auch wenn der Strahl vertical hindurchgesandt ward, und man den Nichol drehte, um der Drehung zu entsprechen, die dem Strahl in dieser Lage durch die magnetischen Curven allein eingeprägt wurde, machte der Hinzutritt (*superinduction*) des Durchganges des elektrischen Stromes nicht den geringsten Unterschied in der Wirkung auf den Strahl.

### 3. Allgemeine Betrachtungen

2221. So ist, glaube ich, zum ersten Male*) eine wahrhafte, directe Beziehung und Abhängigkeit zwischen Licht und den magnetischen und elektrischen Kräften festgestellt, und damit ein grosser Zusatz gemacht zu den Thatsachen und Betrachtungen, welche zu zeigen trachten, dass alle Naturkräfte mit einander verknüpft sind, und einen gemeinschaftlichen Ursprung haben (2146). Beim gegenwärtigen Zustand unserer Kenntniss hält es ohne Zweifel schwer unsere Erwartung in genauen Worten auszudrücken; und wiewohl ich gesagt habe, dass eine andere der Naturkräfte bei diesen Versuchen direct mit den übrigen verwandt sei, so hätte ich vielleicht eher sagen sollen, dass eine andere Form der grossen Kraft distinct und direct verwandt sei mit den übrigen Formen; oder dass die grosse Kraft manifestirt durch particuläre Phänomene unter particulären Formen hier durch die directe Relation ihrer Lichtform zu ihrer Elektricitäts- und Magnetismus-Form ferner identificirt und recognisirt ist.

---

*) Ich sage zum ersten Male, weil ich nicht glaube, dass die Versuche von *Morichini* über die Erzeugung des Magnetismus durch die Strahlen vom violetten Ende des Spectrums eine solche Relation beweisen. Als ich im Mai 1814 mit Sir *Humphry Davy* in Rom war, experimentirte ich in *Morichini*'s Hause mehrere Stunden mit seinem Apparat und unter seiner Anleitung, gelangte aber nicht dahin, eine Nadel zu magnetisiren. Ich habe zu der Magnetisirung, als directes Resultat der Sonnenwirkung, kein Vertrauen, glaube vielmehr, dass sie, wenn sie zu Stande kam, secundär und vielleicht gar zufällig war (*incidental, and perhaps even accidental*), wie sie wohl erfolgen könnte, wenn eine Nadel während des ganzen Versuches in einer Nord-Süd-Lage verharrte.

2. Jan. 1846. — Ich würde nicht, wie oben, »zum ersten Male« geschrieben haben, wenn ich mich der in den Philosoph. Transact. f. 1826, p. 219, und f. 1828, p. 379, mitgetheilten Versuche und Aufsätze des Hrn. *Christie* über den Einfluss der Sonnenstrahlen auf Magnete erinnert hätte. (Ann. Bd. 9, S. 505.)

2222. Dass Magnetismus und Elektricität in Beziehung stehen zum polarisirten Licht, ist selbst interessanter, als wenn es mit gewöhnlichem Lichte der Fall wäre. Die Beziehung erstreckt sich aber nicht auf gemeines Licht; und da sie dem Licht angehört, welches in gewisser Hinsicht durch Polarisation genauer gemacht worden ist in seinem Charakter und seinen Eigenschaften, so verknüpft und verbindet sie es (das Licht) mit diesen Kräften (Magnetismus und Elektricität) in jener Dualität des Charakters, welche letztere besitzen; und eröffnet einen früher nicht gekannten Weg zur Anwendung dieser Kräfte auf die Erforschung der Natur dieses und anderer strahlender Agentien.

2223. Nach der zuvor (2149) gemachten conventionellen Unterscheidung kann ferner behauptet werden, dass es nur die magnetischen Kraftlinien sind, welche auf die Lichtstrahlen wirken, und zwar nur, wenn sie ihnen parallel sind oder zum Parallelismus mit ihnen streben. So wie in Bezug auf Substanzen, die nicht nach Art des Eisens magnetisch sind, die Phänomene der Elektro-Induction und Elektrolysation ein ungeheures Uebergewicht in der Wirksamkeit der elektrischen Kräfte verglichen mit den magnetischen zeigen, so zeigt sich umgekehrt hier in einer anderen Richtung, und in den besonderen und correspondirenden Effecten, welche den magnetischen Kräften angehören, eine grosse Ueberlegenheit der letzteren.

2224. Die magnetischen Kräfte wirken auf den Lichtstrahl nicht direct und ohne Dazwischenkunft von Materie, sondern durch Vermittlung der Substanz, in welcher sie und der Strahl gleichzeitig existiren; die Substanzen und die Kräfte geben einander und empfangen von einander das Vermögen zur Wirkung auf das Licht. Diess erhellt aus der Nichtwirkung eines Vacuums, der Luft und der Gase, und ferner aus dem verschiedenen Grade, in welchem sich die Eigenschaft bei verschiedenen Substanzen vorfindet. Dass die magnetische Kraft immer in derselben Weise und in derselben Richtung auf den Lichtstrahl wirkt, unabhängig von der Verschiedenartigkeit der Substanz, des Aggregatzustandes und des natürlichen Drehvermögens (2232), zeigt, dass die magnetische Kraft und das Licht in directer Beziehung stehen; allein, dass Substanzen nothwendig sind, und dass diese in verschiedenem Grade wirken, zeigt, dass die magnetische Kraft und das Licht durch Dazwischenkunft der Materie auf einander wirken.

2225. Die **Materie** nur durch ihre Kräfte erkennend und wahrnehmend, und nichts wissend von einem imaginären Kern (*nucleus*), der von der Idee dieser Kräfte abstrahirt ist, bestärken die in diesem Aufsatz beschriebenen Erscheinungen mich in dem Vertrauen zu den Ansichten, die ich bei einer früheren Gelegenheit über deren Natur ausgesprochen habe*).

2226. Es leidet keinen Zweifel, dass die magnetischen Kräfte auf die innere Constitution der Diamagnetica genau eben so frei im Dunklen wirken, wie wenn ein Lichtstrahl durch sie geht, obwohl die vom Licht hervorgebrachten Phänomene bis jetzt die einzigen Mittel darzubieten scheinen, um diese Abänderung der Constitution zu beobachten. Ferner muss eine solche Abänderung auch opaken Körpern, wie Holz, Stein und Metall, zukommen, denn als Diamagnetica ist kein Unterschied zwischen ihnen und den durchsichtigen Körpern. Der Grad der Durchsichtigkeit kann in dieser Beziehung höchstens nur einen Unterschied zwischen den Individuen einer Klasse machen.

2227. Wenn die magnetischen Kräfte diese Körper zu Magneten gemacht hätten, würden wir mittelst des Lichts einen durchsichtigen Magnet haben untersuchen können, und das würde eine grosse Hülfe zur Erforschung der Kräfte der Materie gewesen sein. Allein sie machen sie nicht zu Magneten (2171), und deshalb muss die Molecular-Constitution dieser Körper, wenn sie in dem beschriebenen Zustand sind, specifisch verschieden sein von dem eines magnetischen Eisens oder einer anderen solchen Substanz; es muss ein **neuer magnetischer Zustand** sein, und da der Zustand ein Spannungszustand ist (manifestirt durch seine augenblickliche Rückkehr zu dem Normalzustand, wenn die magnetische Induction entfernt wird), so muss die Kraft, welche die Materie in diesem Zustand besitzt, und ihre Wirkungsweise für uns eine **neue magnetische Kraft** oder **Wirkungsweise** der Materie sein.

2228. Denn es ist unmöglich, glaube ich, die Wirkung der magnetischen Kräfte auf ein Stück schweren Glases oder eine Röhre voll Wasser an Stärke wachsen zu sehen, ohne zugleich einzuräumen, dass die Substanz Eigenschaften erlangt, welche nicht allein **neu** für sie sind, sondern auch sehr bestimmten und genauen Gesetzen unterliegen (2160, 2199) und

---

*) Phil. Mag. 1844, Vol. XXIV, p. 136.

im Verhältniss zu den sie erzeugenden magnetischen Kräften stehen.

2229. Vielleicht ist dieser Zustand eine zu einem Strome strebende elektrische Spannung, wie in Magneten, nach *Ampère*'s Theorie, der Zustand der eines Stroms ist. Wenn ein Eisenkern in ein Drahtgewinde gelegt wird, so lässt alles glauben, dass im Eisen Elektricitätsströme erregt werden, welche in einer auf der Axe des Gewindes winkelrechten Ebene herumkreisen. Wenn ein Diamagneticum in dieselbe Lage gebracht wird, erlangt es das Vermögen, Licht in derselben Ebene zu drehen. Der Zustand, welchen es erlangt hat, ist ein Spannungszustand, der noch nicht in Ströme übergegangen ist, obwohl die wirkende Kraft und alle übrigen Umstände dieselben sind wie die, welche Ströme erregen in Eisen, Nickel, Kobalt und anderen dazu geeigneten Substanzen. Die Idee also, dass in Diamagneticis unter solchen Umständen eine Tendenz zu Strömen bestehe, verträgt sich mit allen bisher beschriebenen Erscheinungen, und wird ferner durch die Thatsache bestätigt, dass wenn ein Magnet (*loadstone*) oder elektrischer Strom, welcher durch seine inductive Action ein Stück Eisen, Nickel oder Kobalt magnetisch macht, unverändert gelassen wird, eine blosse Aenderung der Temperatur diesen Körper ihre Extra-Kraft nimmt, und sie in die gemeine Klasse der Diamagnetica versetzt.

---

2230. Es ist, glaube ich, gegenwärtig das erste Mal, dass der zur Circularpolarisation des Lichts erforderliche Molecularzustand einem Körper künstlich gegeben worden, und es hat daher viel Interesse, diesen bekannten Zustand (*state and condition*) des Körpers zu vergleichen mit dem relativ unbekannten Zustand, den mehrere schon von Natur besitzen, besonders da einige rechts und andere links drehen, ja diese Verschiedenheit schon bei chemisch-identischen Exemplaren eines und desselben Körpers vorkommt, wie beim Quarz und bei dem Terpenthinöl, einer Flüssigkeit mit frei beweglichen Theilchen.

2231. Vorab möchte man zu dem Schluss geneigt sein, der natürliche Zustand und der durch magnetische oder elektrische Kräfte erregte seien einerlei; allein bei fernerer Ueberlegung stösst man dabei auf grosse Schwierigkeiten. Beim Terpenthinöl hängt die Kraft der Drehung eines Lichtstrahls von seinen Theilchen ab, und nicht von der Anordnung seiner

Masse. In welcher Weise auch ein polarisirter Lichtstrahl durch diese Flüssigkeit gehe, so wird er doch in gleichem Sinne gedreht, und Strahlen, welche gleichzeitig in allen möglichen Richtungen durch die Masse gehen, werden alle mit gleicher Kraft, nach einem gemeinschaftlichen Gesetze gedreht, d. h. alle entweder rechts oder links. So verhält es sich aber nicht mit dem demselben Terpenthinöl durch magnetische oder elektrische Kräfte noch darüber eingeprägten Drehvermögen; es äussert sich bloss in Einer Richtung, in winkelrechter Ebene auf der magnetischen Linie; und da es auf diese Ebene beschränkt ist, so kann seine Richtung durch eine Umkehr der Richtung der erregenden Kraft geändert werden. Die Richtung der vom natürlichen Vermögen erzeugten Drehung ist mit der Richtung des Lichtstrahls auf unveränderliche Weise verknüpft; allein diess Vermögen scheint den Flüssigkeitstheilchen in jeder Richtung und zu allen Zeiten eigen zu sein. Die Richtung der vom inducirten Zustand erzeugten Drehung hängt unveränderlich von der Richtung der magnetischen Linie oder des elektrischen Stroms ab, und dieser Zustand der Flüssigkeitstheilchen ist strenge durch die Linie oder den Strom begrenzt, wechselt und verschwindet mit ihnen.

2232. Es sei *m*, Fig. 9 ein Glaskasten, gefüllt mit Terpenthinöl, welches von Natur das Vermögen besitzt, den

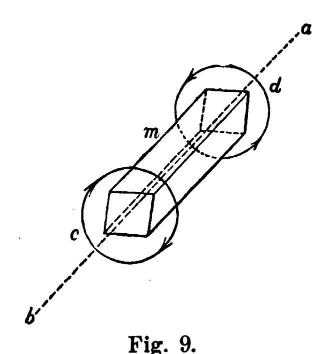
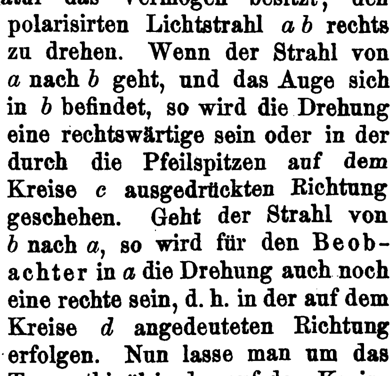
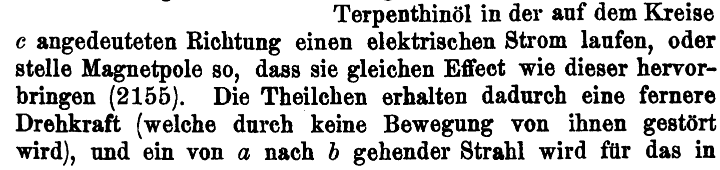


Fig. 9.


polarisirten Lichtstrahl *a b* rechts zu drehen. Wenn der Strahl von *a* nach *b* geht, und das Auge sich in *b* befindet, so wird die Drehung eine rechtswärtige sein oder in der durch die Pfeilspitzen auf dem Kreise *c* ausgedrückten Richtung geschehen. Geht der Strahl von *b* nach *a*, so wird für den Beobachter in *a* die Drehung auch noch eine rechte sein, d. h. in der auf dem Kreise *d* angedeuteten Richtung erfolgen. Nun lasse man um das Terpenthinöl in der auf dem Kreise


*c* angedeuteten Richtung einen elektrischen Strom laufen, oder stelle Magnetpole so, dass sie gleichen Effect wie dieser hervorbringen (2155). Die Theilchen erhalten dadurch eine fernere Drehkraft (welche durch keine Bewegung von ihnen gestört wird), und ein von *a* nach *b* gehender Strahl wird für das in

*b* befindliche Auge stärker rechts oder stärker in der Richtung *c* gedreht erscheinen als zuvor. Geht aber der Strahl von *b* nach *a* und beobachtet das Auge in *a*, so ist das Phänomen anders; denn die neue Drehung, statt in der auf dem Kreise *d* angedeuteten Richtung zu erfolgen, hat entgegengesetzte Richtung oder geht nach der Linken des Beobachters (2199). Die inducirte Drehung addirt sich also der natürlichen, so wie der Strahl von *a* nach *b* geht, subtrahirt sich aber von dieser, so wie er von *b* nach *a* geht. Die Theilchen der Flüssigkeit also, welche vermöge ihrer natürlichen Kraft drehen (*rotate*), können nicht in demselben Zustand sein, wie die, welche es vermöge der inducirten Kraft thun.

2233. Anlangend das Vermögen des Terpenthinöls, einen in jeglicher Richtung durchgehenden Strahl zu drehen, so kann es wohl sein, dass alle Theilchen das Drehvermögen besitzen, aber nur diejenigen den Lichtstrahl ergreifen, deren Drehungsebene mehr oder weniger winkelrecht auf diesem ist, und dass es die Resultante oder Summe der Kräfte in irgend einer Richtung ist, welche die Drehung bewirkt. Allein selbst dann bleibt ein auffallender Unterschied, weil die Resultante in derselben Ebene keine absolute Richtung hat, sondern eine von der Bahn des Strahles abhängige, indem sie in dem einen Falle wie bei *c*, und in dem andern wie bei *d*, Fig. 34, Taf. I, gerichtet ist; wogegen die Resultante der magnetischen oder elektrischen Induction absolut ist, nicht von der Richtung des Strahls abhängt, immer entweder dem Sinne von *c*, oder dem von *d* entspricht.

2234. Alle diese Unterschiede werden indess ohne Zweifel verschwinden oder in Harmonie kommen, so wie diese Untersuchungen weiter ausgedehnt werden; und selbst ihr Dasein öffnet so viele Wege, auf welchen wir mit unseren Forschungen immer tiefer und tiefer in die Kräfte und Constitution der Materie eindringen können.

2235. Körper, welche an sich ein Drehvermögen besitzen, scheinen dadurch keine grössere oder geringere Tendenz zur Annahme eines höheren Grades von diesem Vermögen unter dem Einfluss der magnetischen oder elektrischen Kraft zu besitzen.

2236. Wären nicht diese und andere Unterschiede da, so könnte man eine Analogie sehen einerseits zwischen den Körpern, welche immer das Drehvermögen besitzen, wie z. B. Bergkrystall, welcher nur in Einer Ebene dreht, und denjenigen, welchen

dieses Vermögen mittelst Induction durch andere Kräfte gegeben wird, wie ein Prisma von schwerem Glase innerhalb einer Drahtrolle; und andererseits zwischen einem natürlichen Magnet und einer Drahtrolle, durch welche ein Strom geleitet wird. Der natürliche Zustand des Magnetes und Quarzes, und der gezwungene (*constrained*) Zustand der Drahtrolle und des schweren Glases bilden das Glied der Analogie in Einer Richtung; während die Annahme von Strömen in dem Magnet und der Drahtrolle, und von blosser Tendenz oder Tension zu Strömen im Quarz und im schweren Glase das Glied in anderer (*transverse*) Richtung liefert.

2237. Was die Körper betrifft, welche keine Anzeige von der Einwirkung auf das Licht und also auch von Annahme des neuen magnetischen Zustandes liefern, so können sie in zwei Klassen getheilt werden; die eine enthält: Luft, Gase und Dämpfe, und die andere: Bergkrystall, Kalkspath und gewisse andere krystallisirte Körper. Rücksichtlich der letzteren Klasse werde ich in einer nächsten Reihe dieser Untersuchungen Beweise, hergeleitet aus Erscheinungen ganz anderer Art, geben, dass sie den neuen magnetischen Zustand annehmen; und diese gestalten sich so, dass ich für den Moment zu glauben geneigt bin, dass selbst Luft und Gase fähig sind, den neuen Zustand anzunehmen und selbst auf Licht einzuwirken, doch in einem so geringen Grade, dass es bisher noch nicht wahrnehmbar gemacht worden ist. Der Gaszustand stellt eine so merkwürdige Constitution der Materie dar, dass wir nicht zu hastig annehmen dürfen, dass Substanzen, die im starren und flüssigen Zustand selbst Eigenschaften von allgemeinem Charakter besitzen, diese immer mit in den gasigen hinübernehmen.

2238. Steinsalz, Flussspath und, wie ich glaube, Alaun wirken auf das Licht; die übrigen von mir untersuchten Krystalle thun es nicht; erstere sind gleichaxig und einfach brechend, letztere ungleichaxig und doppeltbrechend. Vielleicht dass diese Fälle, neben der Drehung des Quarzes, eine Relation zwischen Magnetismus, Elektricität und den Krystallisationskräften der Materie andeuten.

2239. Alle Körper werden sowohl von Stromgewinden als von Magneten afficirt, nach Gesetzen, welche zeigen, dass sowohl die Ursachen als die Wirkungen identisch sind. Diess Resultat liefert eine andere feine Probe zu Gunsten der Einerleiheit von Stromgewinden und von Magneten nach *Ampère*'scher Vorstellung.

2240. Die Theorie der elektrischen Vertheilung (*static induction*), welche ich früher aufzustellen wagte (1161 etc.), und welche eine Wirkung der zusammenliegenden Theilchen des zwischen dem inducirenden und dem inducirten Körper befindlichen Dielektricums annimmt, liess mich erwarten, dass dieselbe Art von Abhängigkeit von den intervenirenden Theilchen bei der magnetischen Wirkung stattfinden würde, und ich veröffentlichte vor sieben Jahren gewisse Versuche und Betrachtungen über diesen Punkt (1700 bis 1736). Damals konnte ich keinen besonderen Zustand der intervenirenden Substanz oder des Diamagneticums entdecken; allein gegenwärtig, da ich im Stande gewesen bin, solch einen Zustand nachzuweisen, der nicht nur ein Spannungszustand ist (2227), sondern auch zugleich von den durch die Substanz gehenden magnetischen Linien abhängt, bin ich mehr als je ermuthigt zu glauben, dass die damals ausgesprochene Ansicht richtig sei.

2241. Obgleich die magnetischen und elektrischen Kräfte keine Wirkung auf den gewöhnlichen oder den depolarisirten Strahl auszuüben scheinen, so dürfen wir doch kaum zweifeln, dass sie einen speciellen Einfluss auf ihn haben, der wahrscheinlich bald durch Experimente dargethan wird. Auch steht nicht anders als zu vermuthen, dass dieselbe Art von Wirkung auf die übrigen Formen von strahlenden Agentien wie Wärme und chemische Kraft stattfinden werde.

2242. Diese magnetische und elektrische Wirkungsweise und die durch sie dargebotenen Erscheinungen werden, hoffe ich, späterhin die Untersuchung der Natur von durchsichtigen Körpern, von Licht, von Magneten und deren Wirkung auf einander und auf magnetische Substanzen bedeutend unterstützen. Ich bin jetzt mit Untersuchung des neuen magnetischen Zustandes beschäftigt und werde bald der K. Gesellschaft einen ferneren Bericht davon erstatten. Was der mögliche Effect der Kraft in der Erde als Ganzes, oder in Magneten, oder in Relation zur Sonne sei, und wie sich Elektricität und Magnetismus am besten durch Licht entwickeln lassen, sind Gedanken, die mir beständig im Sinne liegen, doch es wird besser sein, Zeit und Gedanken, unterstützt von Experimenten, auf die Erforschung und Entfaltung reeller Wahrheit, als zur Aufsuchung blosser Subpositionen zu verwenden.

Royal Institution, 1845, Oct. 29.

---

## Zusatz.[8])

(Philosoph. Transact. f. 1847. — Pogg. Ann. Band LXX.)

Wenn ein polarisirter Lichtstrahl und Magnetkraftlinien gleichzeitig und einander parallel durch ein durchsichtiges, nicht doppeltbrechendes, starres oder flüssiges Mittel gehen, so wird der Strahl gedreht, nach einem einfachen Gesetz, welches ich im letzten Theil der *Philosophical Transactions* angegeben habe*). Wenn ein solcher Strahl durch gewisse Quarzkrystalle, durch Terpenthinöl u. s. w. geht, wird er auch, ohne alle Mithilfe von Magnetkraft, nach einem wohlbekannten Naturgesetz gedreht. Zwischen diesen beiden Drehungen ist, obwohl sie auf den ersten Blick einerlei zu sein scheinen, ein auffallender Unterschied vorhanden; denn die erstere ist, ihrer Richtung nach, abhängig von den Magnetkraftlinien und nicht von der Stellung des Beobachters oder dem Lauf des Lichtstrahls, wogegen die letztere von der Stellung des Beobachters oder dem Lauf des Strahls abhängt.

Beim Nachdenken schien es, dass die Eigenthümlichkeit der magnetischen Drehung benutzt werden könne, um den Endeffect der Magnetkraft zu verstärken, und auch um manche wichtige Punkte entschiedener zu beweisen, als es bisher möglich gewesen. Diess hat sich durch den Versuch als richtig erwiesen, und das Folgende enthält einige Resultate davon.

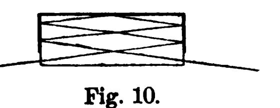
Ein Parallelepiped von schwerem Glase, 0,7 Zoll im Quadrat und 2,5 Zoll lang, ward an beiden Enden polirt und versilbert. Darauf wurde die Versilberung auf einem Raum von etwa 0,1 Zoll Breite längs einer der Kanten von einem Ende abgenommen, eben so an dem andern Ende, jedoch an der entgegengesetzten Seite des Parallelepipedes, so dass jedes Ende mit einem guten ebenen Reflector versehen war, von denen aber der eine über den andern hervorragte. (Fig. 11.) In Folge dieser Einrichtung konnte ein Lichtstrahl, nachdem er zu einem Ende eingetreten war, zwei oder mehrere Male in dem Glase reflectirt und dann hinausgelassen werden.

Ein ähnliches Stück schweren Glases wurde an beiden Enden und an der einen Seite versilbert, und dann an den

---

*) Phil. Tr. f. 1846, pt. 1, p. 4. (Annal., Bd. 68, S. 109.) Klassiker, vorliegendes Heft, Seite 25 ff.

Enden auf einen Raum von 0,1 Zoll Breite längs den Kanten, die am weitesten von der versilberten Seite abstanden, die Versilberung entfernt. (Fig. 10.) Ein in den unversilberten Theil des einen Endes unter einer gewissen Schiefe eintretender Strahl konnte am andern Ende, dann an der Seite, und nun am ersten Ende reflectirt werden, somit also drei Mal im Glase entlang und zuletzt am anderen Ende hinausgeführt werden. Bei anderen Neigungen konnte der Strahl fünf, sieben, neun, elf und mehrere Male im Glase hin- und hergehen, ehe er durch die Luft ins Auge des Beobachters gelangte.


Fig. 10.

Jedes dieser Glasstücke vermochte das gewünschte Resultat der wiederholten inneren Reflexionen zu liefern; allein das erstere zeigte sich am bequemsten für den Gebrauch. Bei Anwendung eines starken Lichtes hielt es nicht schwer, die Reihe der durch successive Reflexion entstandenen Bilder bis zum neunten oder zehnten zu verfolgen, also bis 17- oder 19maligem Durchgang des Strahls durch das Glas. Eine kleine Aenderung in der Lage des versilberten Glases zwischen den beiden als Polarisirer und Analysirer angewandten Nichol'schen Prismen reichte hin irgend eins dieser Bilder zur Ansicht zu bringen, sobald das Glas zugleich unter dem vollen Einfluss des Elektromagnets oder des zur Erzeugung der Magnetkraftlinien angewandten Schraubenstroms stand. Einen ferneren Vortheil erlangt man, wenn die Enden des Glasstücks nicht ganz zu einander parallel sind, sondern die Seiten an den Rändern, wo der Strahl ein- und austritt, etwas verschiedene Längen haben. Diese Einrichtung bringt die Reihe der reflectirten Bilder, von einem Ende gesehen, mehr aus einander, von dem andern mehr zusammen, und dadurch wird die Beobachtung eines besonderen Bildes oder der gleichzeitige Vergleich zweier oder mehrerer Bilder begünstigt.

Beim Nachdenken über die Wirkung dieser Vorrichtung leuchtet ein, dass wenn *AB CD*, Fig. 11, einen Trog mit Zuckerlösung oder irgend einer andern mit Drehkraft für einen polarisirten Lichtstrahl begabten Flüssigkeit vorstellt,* der in *D* eintretende und bei *A* austretende Strahl eine gewisse Drehung erfahren würde, dass er aber, wenn er, statt bei *A* auszutreten, von der Fläche *AF* nach *E* reflectirt würde,

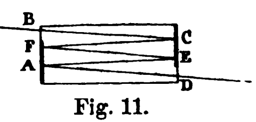


Fig. 11.

daselbst keine Drehung zeigte, denn die Wirkung auf dem Gange von *D* nach *A* würde genau compensirt durch die Rückkehr von *A* nach *E*. Oder wenn die Reflexionen öfter, bei *E*, *F* und *C* wiederholt würden, so dass der Strahl die Flüssigkeit fünf Mal durchliefe, würde der Endbetrag der Drehung nur dem gleich sein, welcher nach einem einmaligen Durchgange zu Stande käme.

Diess würde aber nicht der Fall sein, wenn *ABCD* ein Diamagneticum wäre, welches den Strahl mittelst magnetischer Kraft drehte; denn, wie oft auch der Strahl hindurchginge, würde er doch, in Bezug auf die Magnetkraftlinien in derselben Richtung gedreht werden. So würde er, wenn man ihn nach dem Austritt bei *A* beobachtete, einen Betrag von (wir wollen sagen rechter) Drehung zeigen, der gleich wäre dem, welchen ein einmaliger Durchgang durch das Diamagneticum erzeugen könnte. Beobachtete man ihn bei *E*, würde er eine linke Drehung zeigen im Betrage doppelt so gross als die erste oder einheitliche Menge. Beobachtete man ihn bei *F*, würde er das Dreifache der ersten rechten Drehung besitzen, bei *C* die vierfache linke Drehung, und bei *B* das Fünffache der anfänglichen rechten Drehung.

Diess bestätigte sich beim Versuch. Es wurde der grosse, in den *Philosoph. Transactions* beschriebene Magnet angewandt*), und das Glasparallelepiped, Fig. 11, Seite 53, seinen Kräften unterworfen. Der directe oder das erste Bild vom leuchtenden Gegenstand erzeugende Strahl erlangte eine Drehung nach der Rechten von 12°. Als das Glas ein wenig geneigt ward, erschien das zweite Bild oder dasjenige, welches von dem drei Mal durch das Glas gegangenen Strahl erzeugt wurde; seine Drehung betrug 36°. Darauf wurde das dritte Bild beobachtet, und die Drehung des dasselbe hervorbringenden Strahls betrug 60°, so nahe als mein roher Apparat Winkelgrössen messen liess. Dasselbe allgemeine Resultat wurde mit dem zweiten der beschriebenen Glasstücke erhalten.

Der Versuch beweist auf sehr schlagende Weise, dass, welchen Weg das Licht durch das Diamagneticum auch nehmen möge, die Richtung der Drehung doch wesentlich und alleinig von der Richtung der Magnetkraftlinien abhängt.

Er beweist auch in nicht misszuverstehender Weise den Unterschied in dieser Hinsicht zwischen der Drehung des

---

*) Phil. Tr. f. 1846, p. 22, § 2247. (Klass. Heft 140, Seite 5.)

Strahls durch Magnetismus und der durch Quarz, Zucker, Terpenthinöl und ähnliche Körper.

Sowohl durch isolirte als durch combinirte Beobachtung der verschiedenen Bilder zeigt er, dass die Wirkung proportional ist der der Magnetkraft unterworfenen Länge des Strahls*); denn es lassen sich, während die Intensität der Magnetkraft und die übrigen Umstände unverändert bleiben, die Längeneinheit und deren Multipla auf einmal beobachten.

Er erlaubt in der Messung des Betrags der Drehung eines gegebenen Strahls oder der verschiedenfarbigen Strahlen einen weit höheren Grad von Genauigkeit zu erreichen.

Vermöge der obigen Einrichtung ist ein kurzes Stück von einem Diamagneticum, z. B. einem Krystalle, hinreichend zu einem Versuche, zu dem es, wenn der Strahl nur einmal hindurchginge, unzulänglich wäre.

Er erlaubt auch, bei Anwendung eines Magnets, die Magnetkraft durch Annäherung an die Pole zu concentriren und somit den Effect zu erhöhen; oder einen schwachen Magnet statt eines starken zu nehmen, so dass selbst gute Stahlmagnete brauchbar sein können. Auch ist jetzt, wenn man einen schraubenförmigen Strom anwendet, ein viel kürzerer und schwächerer als zuvor erforderlich.

Nach Ermittlung der grossen Vorzüge dieses Apparats zur Untersuchung vieler Substanzen, die bei dem früher beschriebenen Verfahren keine merklichen Resultate gegeben hatten, schritt ich zur Anwendung desselben auf Luft und einige doppeltbrechende Krystalle**).

Zu dem Ende machte ich die Seiten der Magnetpole zu Reflectoren, indem ich an jeden eine polirte Stahlplatte anlegte; und da die Pole beweglich waren, konnte ich deren reflectirende Flächen in jeden Abstand und jede erforderliche Lage bringen, bei welcher sie die zu untersuchende Substanz zwischen sich fassten.

Luft. — Wenn Luft zwischen den Magnetpolen befindlich war, konnte ich keine Anzeige von Wirkung auf den Strahl erblicken, selbst beim vierten, fünften und sechsten Bilde.

Quarzkrystall. — Es wurden die früher beschriebenen Würfel aus dieser Substanz in Untersuchung genommen***);

*) Experimental-Untersuchungen, § 2163 (s. S. 30).
**) Experimental-Untersuchungen, § 2237 (s. S. 50).
***) Ibid. § 2178 (s. S. 34).

allein ich konnte keine Spur von Wirkung auf den Lichtstrahl entdecken, obwohl die Würfel 0,75 Zoll in Seite hielten, und der Strahl nach sieben- und selbst neunmaligem Durchgang beobachtet wurde. Ich untersuchte die Würfel in allen Richtungen.

Kalkspath. — Ein Würfel aus dieser Substanz*), eben so untersucht, gab auch keine Wirkung.

Schweres Glas dagegen gab die erwarteten Erscheinungen leicht und gut.

Da diese Versuche sowohl mit Luft als mit doppeltbrechenden Krystallen kein positives Resultat gegeben hatten, so versilberte ich die letzteren in ähnlicher Weise wie das schwere Glas, damit die Magnetpole ihnen möglichst nahe gebracht werden könnten; allein auch jetzt war keine Anzeige von magnetischer Wirkung auf den Strahl zu erhalten.

Die natürliche sechsseitige Säule eines Quarzkrystalls, 2,3 Zoll lang, wurde an den Enden polirt und versilbert; es war aber auch damit keine Wirkung auf das Licht zu beobachten, weder beim ersten noch beim zweiten und dritten Bilde.

Hr. E. Becquerel glaubt bei doppeltbrechenden Krystallen eine Wirkung beobachtet zu haben; vermuthlich ist sein Apparat zur Wahrnehmung optischer Veränderungen empfindlicher als der meine. Ist diess der Fall, so würde er, combinirt mit dem Verfahren der wiederholten Durchgänge des Strahls, vielleicht sehr deutliche Resultate geben; aber diess Verfahren allein hat bis jetzt keine Anzeige von der gesuchten Wirkung gegeben.

Gewisse Fingerzeige veranlassten mich nachzusehen, ob das Kreuzen der in der Vorrichtung, Fig. 10, reflectirten Strahlen irgend einen Effect hervorbrächte; allein ich konnte keinen Unterschied in der Wirkung dieser Vorrichtung und der andern, Fig. 11, wo keine solche Kreuzung stattfindet, wahrnehmen.

---

*) Ibid. § 2179 (s. S. 34).

# Anmerkungen.

---

1) *Zu S. 3.* Die achtzehnte Reihe behandelt das Problem der Dampfelektrisirmaschine und steht in naher Beziehung zu früheren Forschungen des Verfassers in der zwölften Reihe. Die Uebersetzung ist den Annalen von *Poggendorff* entnommen.

2) *Zu S. 25.* Die neunzehnte Reihe, drei Jahre nach der vorhergehenden veröffentlicht, bringt die grosse Entdeckung der Drehung der Polarisationsebene des Lichtes durch Magnetismus und Elektricität. *Faraday* giebt eine Anmerkung zur Ueberschrift; wir haben in *Poggendorff's* Uebersetzung mehrfach Aenderungen vornehmen müssen, so auch in der Ueberschrift, in der wir Belichtung für richtiger halten als das dort gebrauchte Beleuchtung; ebenso in der Anmerkung, wo wir mehrfach belichten statt beleuchten anwenden.

3) *Zu S. 26.* Offenbar war *Robert Mayer's* Abhandlung *Faraday* nicht bekannt. Indess fällt die vorliegende Abhandlung in die Zeit, in der nach den Aequivalenten der Energie-Arten geforscht wurde.

4) *Zu S. 26.* Der Ausdruck »Lichtstrahl magnetisiren« dürfte nicht beanstandet werden, dagegen ist die »Belichtung der Magnetkraftlinien« etwas unklar, Im Original aber heisst es: »I have succeeded in *magnetizing and electrifying a ray of light, and in illuminating a magnetic line of force.*«

5) *Zu S. 32.* Der ganze Paragraph ist schwer verständlich, daher folge er hier im Original: »I cannot as yet find that the havy glass, when in this state, i. e. with magnetic lines of force passing through it, exhibits any increased degree, or has any specific magneto-inductive action of the recognized kind. I have placed it in large quantities, and in different positions, between magnets and magnetic needles, having at that time very delicate means of appreciating any difference between it and air, but could find none.« Es geht aus der ganzen Erörterung nicht hervor, wie die magneto-inductive Wirkung untersucht worden ist.

6) *Zu S. 35.* Unterdess ist von *Kundt* erwiesen, dass in allen Körpern, auch in Gasen, eine Drehung erhalten wird. (Berlin, Akad. Sitz. Ber. 34 u. 48, 1884 u. 85. Zu ähnlichen Resultaten gelangte *H. C. J. G. du Bois* (Wied. Ann. Bd. 21).

7) *Zu S. 41.* Dieser Satz ist schwer verständlich, daher folge die Fassung im Original; »These results are complicated, being dependent on the new condition which the character of iron gives to its action on the forces«. Die letzten Worte hat *Poggendorff* Wort für Wort übersetzt: »Diese Resultate sind complicirt, indem sie abhängen von einem neuen Zustand, welcher der Character des Eisens seiner Wirkung auf die Kräfte giebt«. (!)

8) *Zu S. 52.* Dieser Zusatz bringt einige Versuche, die unmittelbar mit dem Vorhergehenden zusammenhängen, obwohl *Faraday* sie nicht in die Experimental-Untersuchungen eingereiht hat. Auch ist dieser Artikel erst nach der zwanzigsten Reihe veröffentlicht worden, daher ein Citat auf diese Reihe (Klass. Heft 140) sich bezieht. — Die in diesem Zusatz mitgetheilten Versuche sind in allen Lehrbüchern aufgenommen.

# Inhalt.

